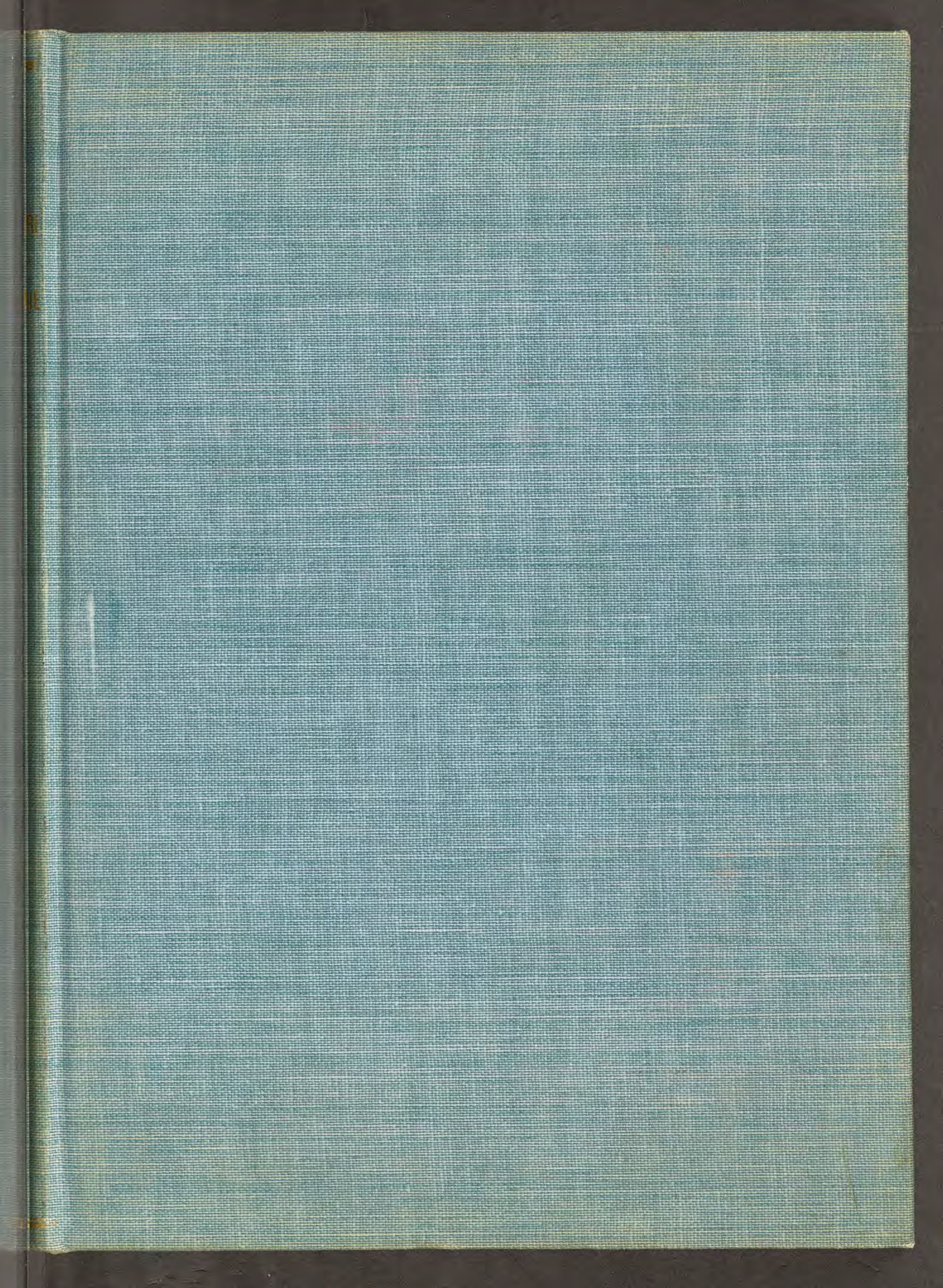
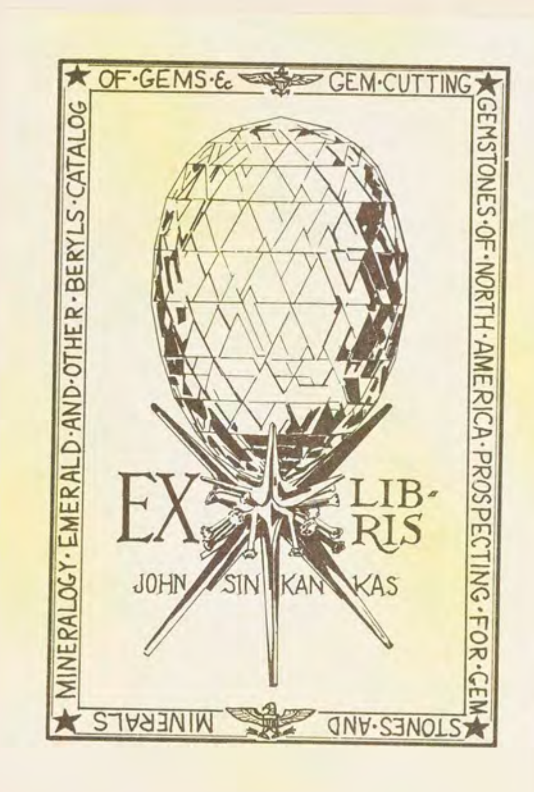
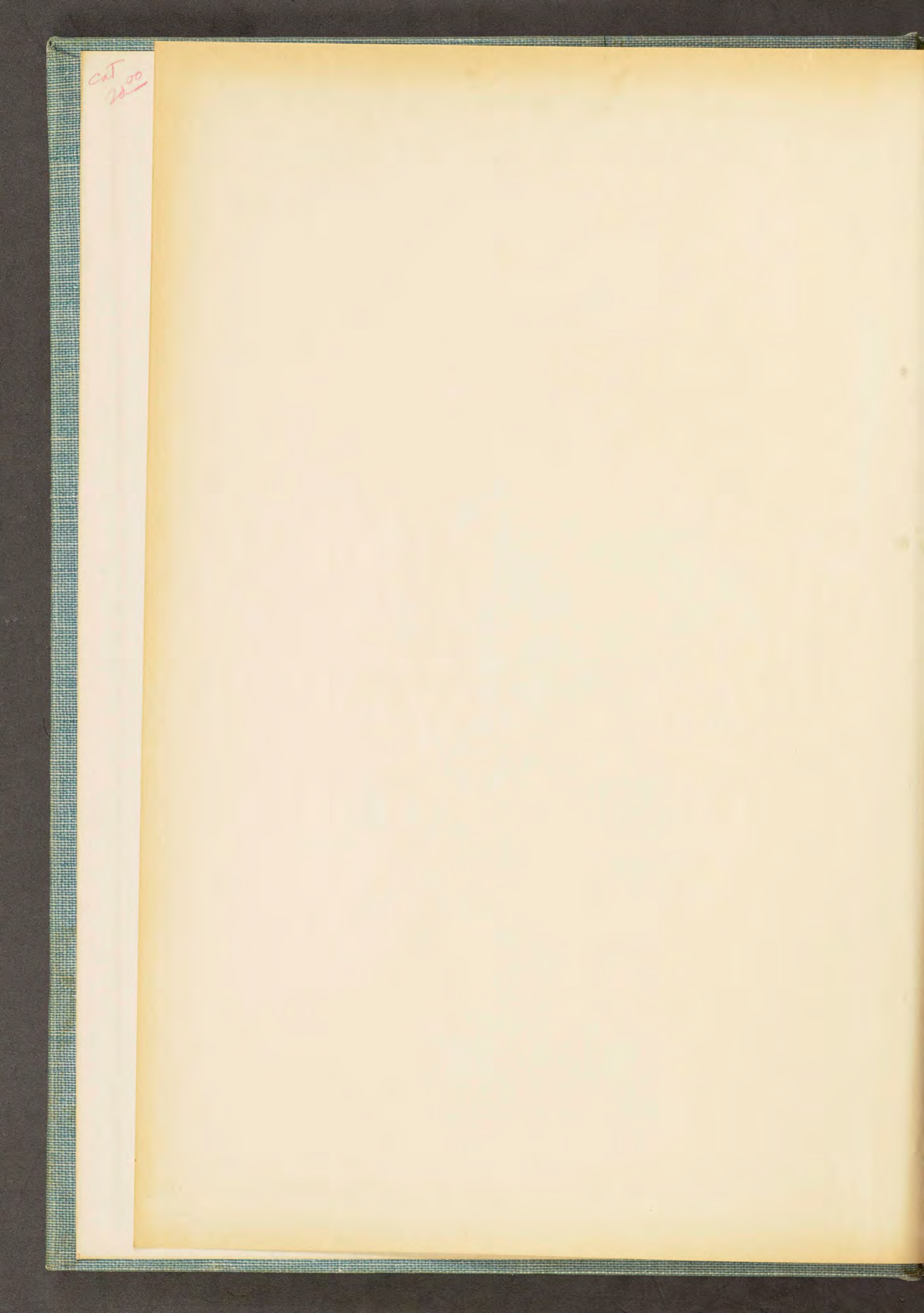


Cat 20.00

Sold 90.00 Paris 4/78



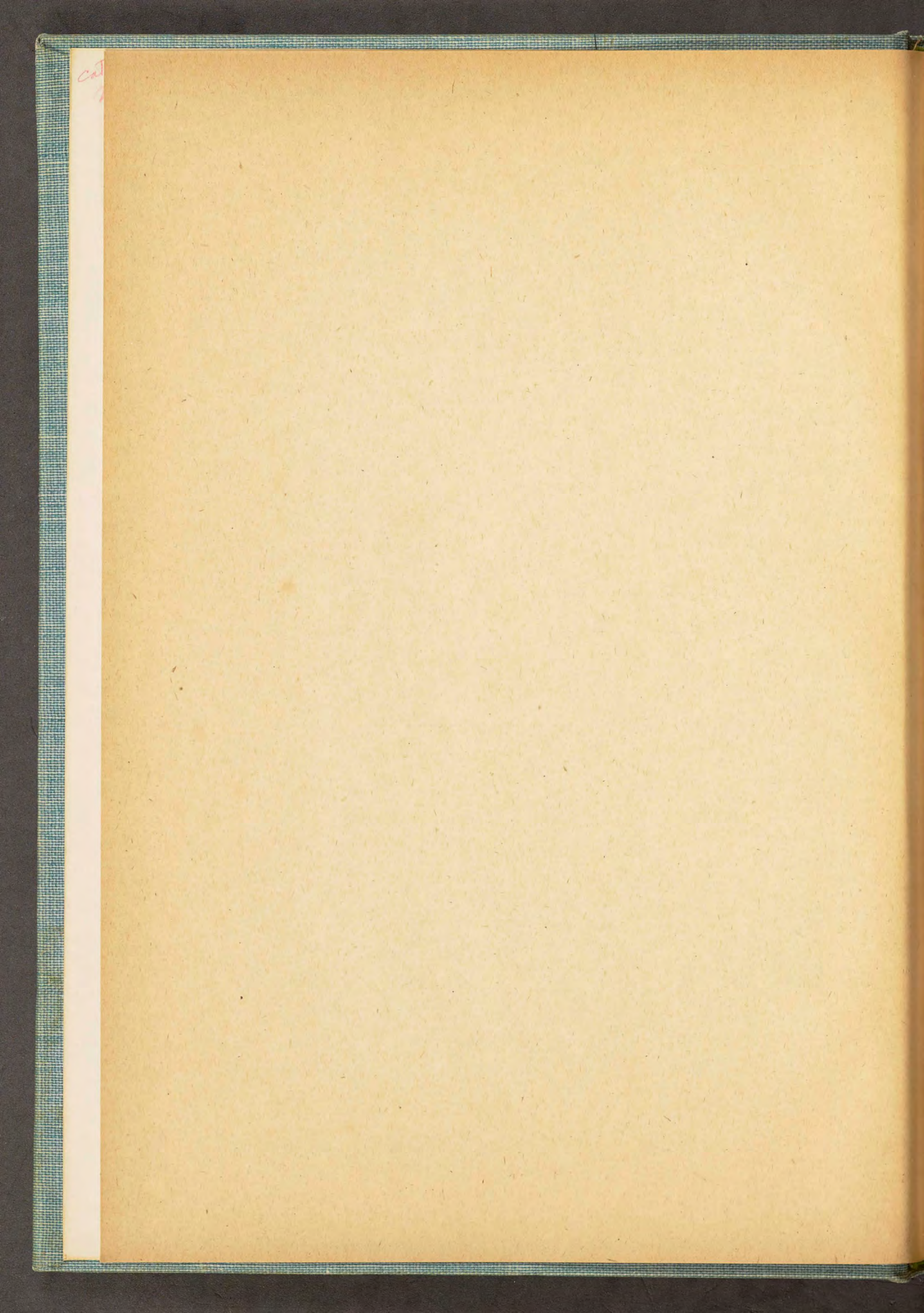

CaT
20 00

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MINÉRALOGIE

PRATIQUE



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MINÉRALOGIE

PRATIQUE

PAR

F. LETEUR

PRÉPARATEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES

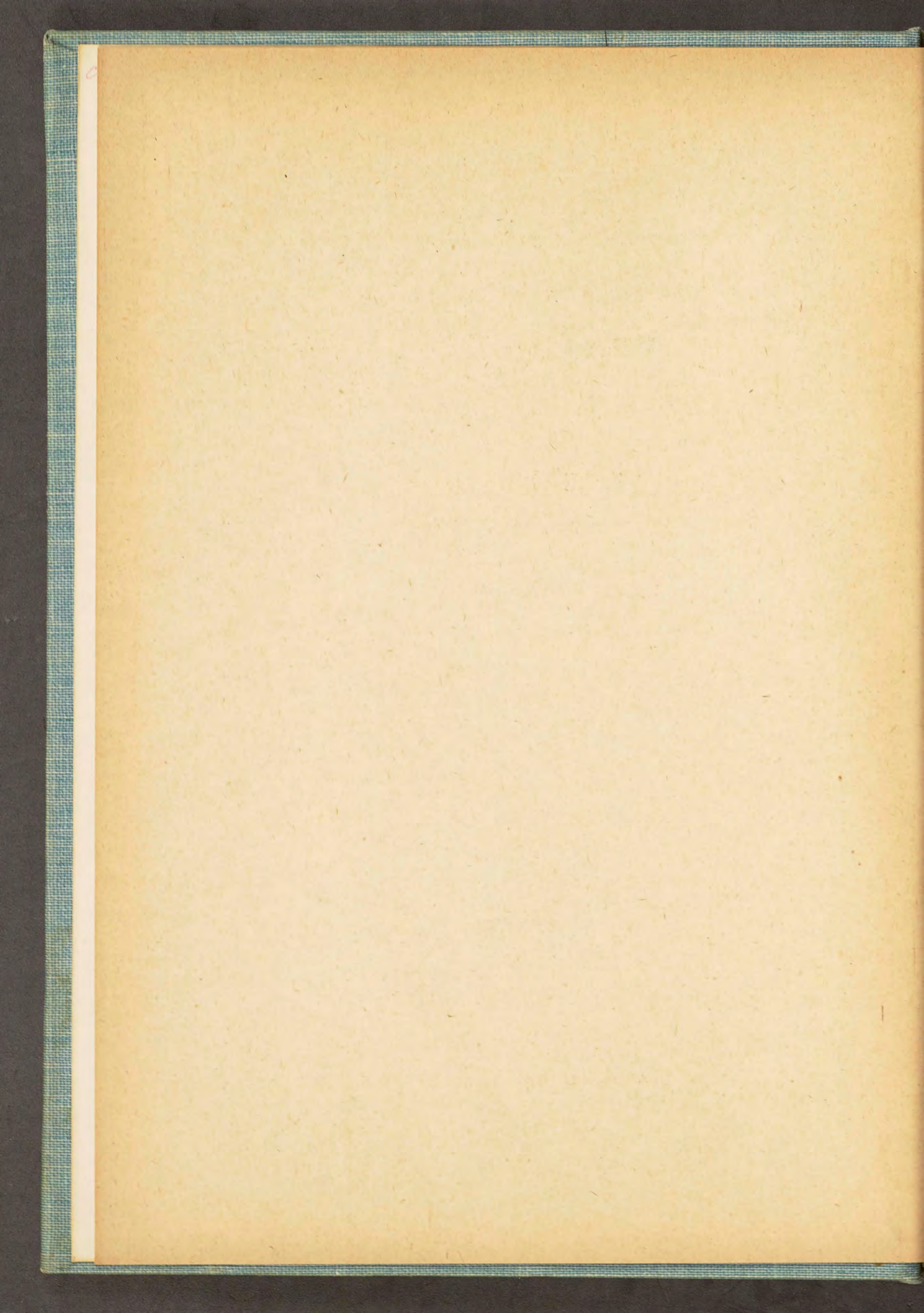
OUVRAGE ILLUSTRÉ DE 150 FIGURES

ET DE

26 PLANCHES HORS TEXTE, TIRÉES EN 15 COULEURS



PARIS
LIBRAIRIE DELAGRAVE
15, RUE SOUFFLOT, 15



INTRODUCTION

La minéralogie est la science qui a pour but l'étude et la classification des composés chimiques naturels inorganisés.

Parmi toutes les sciences, il n'en est peut-être pas une qui présente un intérêt aussi universel et qui ait des rapports plus étroits avec toutes les manifestations de l'activité humaine. Au savant elle offre un champ d'études presque inépuisable; grâce à elle, le philosophe peut pénétrer plus profondément dans les mystères de la constitution de la matière; le métallurgiste et l'industriel lui réclament les données nécessaires à la mise en œuvre des matières premières; le financier spécule sur la découverte et l'extraction des métaux précieux; l'architecte demande les matériaux nécessaires à la décoration d'édifices somptueux; le lapidaire façonne les gemmes et les sertit; l'artiste est séduit par l'élégance des formes et la vivacité des couleurs; la femme du monde enfin trouve dans le règne minéral les ornements dignes de rehausser son élégance, sa grâce et sa beauté.

Et cependant la minéralogie est une science assez délaissée, généralement abandonnée aux seuls spécialistes. Pourquoi? C'est qu'elle suppose la connaissance préalable de la plupart des autres sciences exactes et naturelles. Le minéralogiste doit être chimiste pour trouver la composition du minéral, physicien pour déterminer ses propriétés, mathématicien pour calculer ses formes cristallines, géologue pour reconnaître ses gisements, enfin métallurgiste, industriel et lapidaire pour utiliser ses propriétés et les faire concourir au bien-être général.

Il est rare de réunir toutes ces aptitudes : aussi se spécialise-t-on volontiers et s'attache-t-on à l'étude particulière d'une certaine catégorie de phénomènes. Mais si, pour l'investigation, une telle spécialisation est presque nécessaire, les idées générales tombent dans le domaine commun et peuvent être exposées et comprises sans l'attirail encombrant des théories particulières. Tel un édifice aux proportions harmonieuses, débarrassé des échafaudages compliqués indispensables à son édification.

Nous avons essayé de relier entre eux les phénomènes observés de la manière la plus simple possible, en substituant parfois à des démonstrations rigoureuses, mais compliquées, des comparaisons et des images tirées de la vie ordinaire. C'est ainsi que nous avons essayé de mettre à la portée de tous l'enchaînement des faits de l'optique cristalline. Dans ce but, aux données purement analytiques toutes d'entendement, nous avons substitué des notions géométriques parlant plus efficacement à l'imagination. Il était nécessaire cependant de combler quelques lacunes, en demandant au lecteur de vouloir bien admettre certains postulats qui ont été réduits au minimum. Mais Fresnel lui-même n'a-t-il pas été obligé d'admettre l'évanouissement de la troisième composante vibratoire?

Toutes les fois qu'il a paru nécessaire, les qualités du style ont été sacrifiées à la clarté et à la précision.

Indépendamment des personnes qui, par les exigences de leur profession, ont acquis des connaissances spéciales de minéralogie, il en est d'autres, et en grand nombre, pour lesquelles une étude de ce genre pourrait constituer le plus agréable des délassements, et qui goûteraient volontiers les joies paisibles et profondes du collectionneur, si elles ne se trouvaient arrêtées au début par le défaut de données antérieures suffisantes, tant mathématiques que physiques. C'est à elles qu'est dédié le présent volume, et nous les avons constamment eues en vue pendant la rédaction de ces lignes.

Le pittoresque et l'esthétique du monde minéral ont été condensés dans un certain nombre de planches représentant les principales espèces typiques. Elles sont accompagnées d'un texte explicatif pour l'intelligence duquel on a dû adjoindre une partie théorique réduite aux principes essentiels, et qui se divise en six chapitres.

Le premier comprend la description des formes dans lesquelles on rencontre le minéral dans la nature et la détermination de sa densité, qui est indépendante de son état cristallin.

Dans le second, sont exposés les principes de cristallographie géométrique, l'étude des formes cristallines et des groupements réguliers.

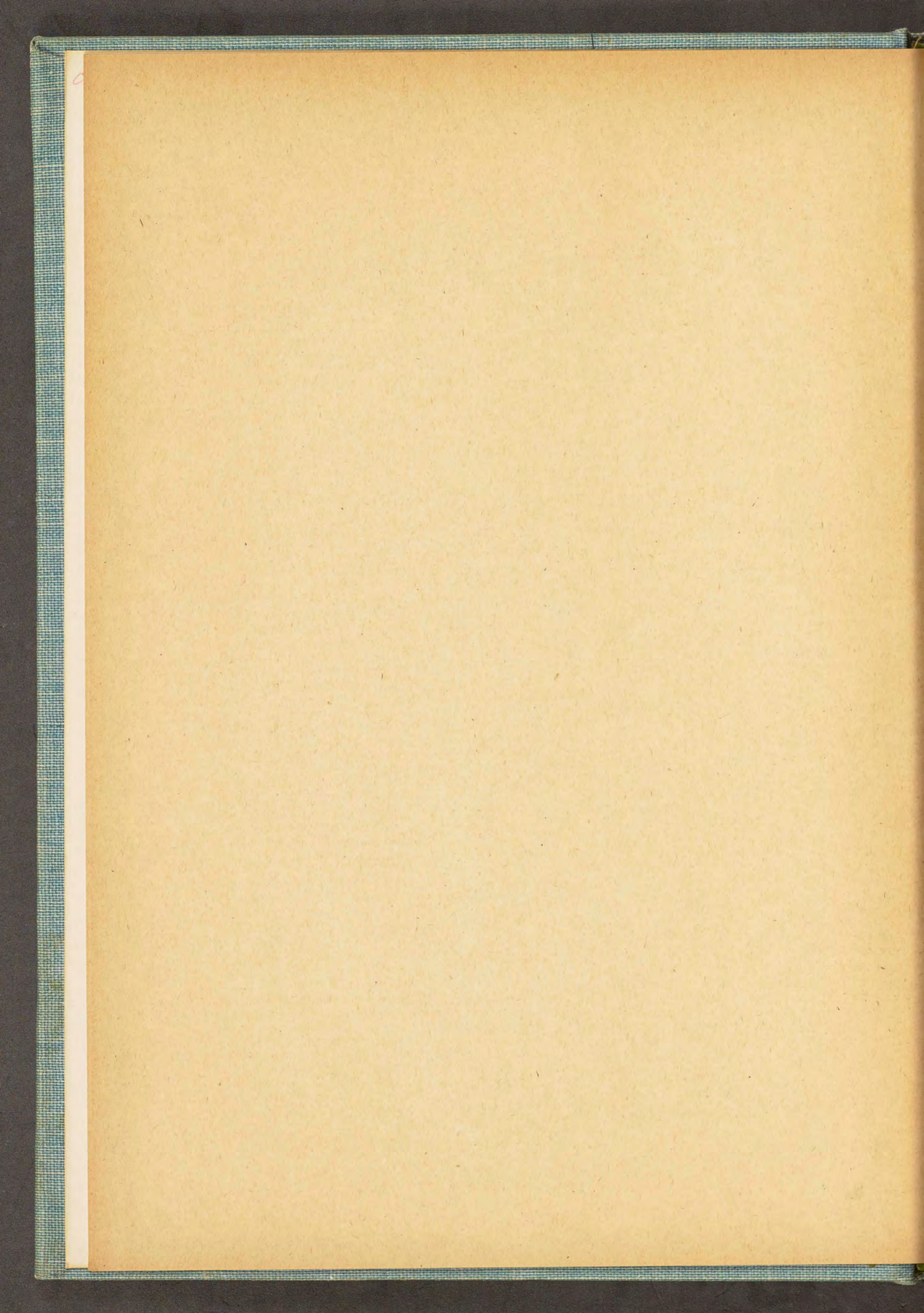
Un troisième est consacré à la théorie élémentaire de l'optique cristalline et des phénomènes qui en dépendent.

Les propriétés physiques et mécaniques ressortant de la structure cristalline font l'objet d'un quatrième.

Dans un cinquième, on a sommairement exposé les lois de la constitution chimique et les rapports de celle-ci avec la structure interne.

Un sixième enfin a trait aux généralités sur la détermination et l'origine des minéraux, à leurs groupements naturels, à leurs principales associations, à leur classification et à leur coexistence dans les roches.

F. Leteur.



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DE MINÉRALOGIE
PRATIQUE

CHAPITRE PREMIER

FORMES NATURELLES DES MINÉRAUX

Les minéraux se présentent dans la nature sous différentes formes, suivant leur origine et le rôle qu'ils jouent dans la constitution du globe terrestre.

Les uns forment les éléments constitutifs des roches primordiales qui ont apparu les premières pendant la période du refroidissement initial. D'autres ont pris naissance au sein de ces mêmes roches ou de celles qui ont été ultérieurement formées de leur débris, sous l'action de certaines influences; d'autres doivent leur origine aux phénomènes de transport et de dissolution des eaux sur les matériaux rencontrés dans leur course; d'autres enfin résultent de l'action d'émanations gazeuses sur des roches avoisinantes.

Les éléments constitutifs des roches d'origine ignée ne présentent généralement que des masses polyédriques non isolables, réunies entre elles par une espèce de ciment à structure régulière. En cet état, les minéraux n'offrent que des formes extérieures incomplètes ou tronquées, que l'on ne peut guère identifier que par leurs propriétés optiques. Mais, heureusement, il s'est trouvé des circonstances dans lesquelles ils ont pu prendre naissance isolément, et ainsi le minéralogiste a pu déterminer les formes extérieures qu'ils sont susceptibles de prendre, leur constitution chimique exacte et leurs propriétés spécifiques.

La répartition des minéraux dans les différentes roches, leurs rapports de coexistence, l'époque relative de leur formation et enfin leur diagnose sont du domaine de la *pétrographie*.

Celle-ci suppose la connaissance préalable de chacune des espèces prises individuellement. C'est le but de la *minéralogie*.

La méthode la plus pratique pour retrouver et déterminer les substances minérales engagées dans ces sortes d'*alliages* que sont les roches, est la *méthode optique,* qui a pris en peu d'années un développement rapide, dû surtout aux travaux de Mallard, de Fouqué, de MM. Michel Lévy, Wallerant et Lacroix. Son importance s'accroît encore de jour en jour, au point de faire peut-être perdre un peu de vue celle des données cristallographiques.

Formes extérieures des minéraux. — Comme nous venons de le voir, ils se trouvent dans les roches, soit à l'état de masses polyédriques à contours plus ou moins distincts, soit à l'état de pâte distribuée en plages et moulant les autres parties.

Cristaux. — Chaque espèce minérale déterminée revêt ordinairement, quand elle prend naissance dans des conditions favorables, une forme polyédrique particulière, terminée de toutes parts par des plans ou *faces* soumis à certaines lois de position et de coexistence. Cette forme est en relation directe avec les propriétés physiques de la substance. Une telle individualité a reçu le nom de *cristal.* A cause d'une certaine indétermination dans le mode de répartition de ses faces, le cristal peut présenter des aspects divers, différant parfois beaucoup pour une même substance; de là un assez grand nombre de variétés, dont les principales sont les suivantes.

Cristaux tabulaires. — Aplatis en manière de tables par suite du développement prononcé de deux faces parallèles. Exemple : *Gypse,* pl. X, fig. 12.

Cr. pyramidés. — Terminés par une ou deux pointes formées d'un assemblage de plans se coupant au sommet d'une pyramide. Exemple : *Quartz,* pl. XIII, fig. 1, 11, 13.

Cr. aciculaires. — Longs et minces, à apparence d'aiguilles. Exemple : *Rutile aciculaire,* inclus dans le Quartz, pl. XIII, fig. 14.

Cr. capillaires. — Tellement fins qu'on peut les comparer à des cheveux.

Groupements de cristaux. — Les cristaux simples et isolés sont les moins fréquents; ordinairement les individus se groupent entre eux. On distingue les *groupements réguliers,* obéissant à des lois déterminées qui seront étudiées ultérieurement en cristallographie. Quant aux *groupements irréguliers,* ils se répartissent en différentes variétés.

Groupements en rosette. — Formés de cristaux tabulaires empilés autour d'un axe central comme les pétales d'une rose. Exemples : *Oligiste,* pl. V, fig. 9; *Barytine,* pl. XII, fig. 6.

Gr. réticulés. — Systèmes de cristaux prismati-

ques parallèles entrelacés. Exemple : *Sagénite*, pl. XVI, fig. 5.

Gr. radiofibreux. — Composés d'individus aciculaires rayonnant dans toutes les directions autour d'un centre commun. Exemples : *Wavellite*, pl. VIII, fig. 12; *Pyrolusite*, pl. VII, fig. 3; *Natrolite*, pl. XXIV, fig. 3.

Gr. ramuleux. — Cristaux accolés les uns aux autres de manière capricieuse et simulant des rameaux. Exemple : *Cuivre natif*, pl. III, fig. 1.

Géodes. — Assemblage de cristaux tapissant entièrement les parois d'une cavité. Les extrémités pointues sont seules distinctes. Exemple : *Mésotype*, pl. XXIV, fig. 1. Si le vide a été complètement rempli, on a une *druse*. Exemple : *Agate*, pl. XV, fig. 1.

Cristaux cannelés. — Ils sont formés par la réunion de prismes allongés, accolés parallèlement les uns aux autres et terminés aux extrémités par des faces planes auxquelles chaque individu contribue pour sa part. Exemples : *Epidote*, pl. XVII, fig. 15; *Acerdèse*, pl. VII, fig. 5.

Agrégats de cristaux. — On les désigne en général sous le nom de *masses*, dont la forme est souvent très capricieuse. Elles peuvent être :

Dendritiques. — En forme de feuilles découpées comme les cristaux de glace qui tapissent en hiver les vitrages des appartements. Exemples : *Bismuth natif*, pl. I, fig. 8; *dendrites de fer et de manganèse*, pl. VI, fig. 15; pl. VII, fig. 1, 2.

Bacillaires. — Réunion de prismes aciculaires, accolés parallèlement. Exemple : *Topaze*, pl. XVI, fig. 23.

Fibreuses. — Quand les cristaux sont très longs et peu distincts les uns des autres. Exemple : *Gypse*, pl. X, fig. 16.

Filiformes. — Quand elles simulent des touffes de fils plus ou moins contournées. Exemple : *Argent natif*, pl. II, fig. 9.

Mousseuses. — En forme de végétations analogues à celles des mousses.

Globulaires. — La masse est alors composée d'une réunion de sphéroïdes de dimensions variables à peu près uniformes. On leur donne le nom de *pisolites* quand leur grosseur est environ celle d'un pois, d'*oolites* quand elles ressemblent à un groupe d'œufs de poisson. Exemple : *Aragonite*, pl. X, fig. 5.

Nodulaires. — Noyaux arrondis.

Botryoïdes. — En forme de grappes de raisin. Exemple : *Prehnite*, pl. XVII, fig. 20.

Mamelonnées. — Couvertes d'extumescences en forme de mamelons.

Réniformes. — En forme de rognons.

Coralloïdes. — Arborescences analogues à celles du corail. Exemple : *Aragonite*, pl. X, fig. 8.

Stalactitiques. — Ressemblant aux glaçons qui pendent en hiver au bord des toits et provenant comme eux de solutions tombant goutte à goutte. Les éléments cristallins divergent autour d'un axe commun. Exemple : *Hématite brune*, pl. VI, fig. 3.

Laminaires. — Ressemblant à des feuilles de papier ou d'étoffe. Exemple : *Or*, pl. II, fig. 3.

Massives. — Quand on ne peut distinguer à l'œil les contours des cristaux constitutifs. Exemple : *Talc*, pl. XXI, fig. 12.

Compactes. — Quand les cristaux sont absolument invisibles. Exemple : *Arsenic natif*, pl. I, fig. 6.

Granulaires. — Quand les cristaux sont petits et présentent des contours irréguliers. Exemple : *Pyroxène*, pl. XXII, fig. 5.

Structure amorphe. — Indépendamment des minéraux caractérisés par une forme extérieure déterminée, il en existe d'autres dont la masse ne saurait se ramener à des groupements d'individualités cristallines déterminées; on dit qu'ils sont *amorphes*.

Au point de vue de la structure, ils sont *vitreux* ou *terreux*.

Leur forme extérieure est quelconque, mais toujours limitée par des surfaces courbes dont on désigne l'allure générale en la comparant à celle d'objets de forme connue.

Ils peuvent être *globulaires*, *nodulaires*, *mamelonnés*, *réniformes*, *coralloïdes* ou *botryoïdes*.

Comme types on peut citer l'*Opale* et la *Psilomélane*, qui sont vitreuses; l'*Asbolane*, qui est terreuse.

DENSITÉ

Si l'on pouvait réduire les différents corps à l'unité de volume, on constaterait, en les portant sur une balance, qu'il faudrait une *masse* différente pour équilibrer chacun d'eux.

En s'astreignant à prendre l'une d'entre elles pour unité, on obtiendrait ainsi la *densité relative* de chacun des autres corps.

L'unité de volume étant arbitraire, il suffira donc de comparer les masses de volumes égaux, sous la condition expresse que l'unité de masse soit celle de l'unité de volume du corps choisi. On a fait choix de l'eau prise à 4° C., à laquelle on attribue par définition une densité égale à l'*unité*.

La densité est une propriété caractéristique de chaque substance; elle varie dans de larges limites et peut souvent différencier d'une façon absolue deux espèces faciles à confondre par la similitude des autres caractères extérieurs. C'est ainsi que le *Saphir oriental* et la *Saphirine* (variété bleue de Quartz), employés tous deux comme pierres d'ornement, sont si semblables d'aspect qu'elles seront facilement confondues. Mais la distinction sera immédiate si l'on prend leur densité, qui est de 4 pour le saphir oriental, et de 2,58 seulement pour le quartz.

Ce caractère de diagnose est avantageux en ce qu'il n'entraîne aucune altération du minéral, mais seulement dans quelques cas un dessertissage.

D'après ce qui précède, il faudrait, en toute rigueur, déterminer la densité à la température de 4° C. Elle serait invariable si la loi de dilatation était la même pour l'eau et tous les corps. On sait qu'il n'en est pas ainsi; mais la différence entre les accroissements de volume est presque pratiquement négligeable, et les résultats ne varient pas sensiblement pour un intervalle de température d'une quinzaine de degrés. Il est d'ailleurs facile de ramener par le calcul la densité à $t°$ à ce qu'elle serait à 4°.

Passons en revue les différentes méthodes employées pour déterminer les densités.

Dans toutes il faudra déterminer : 1° le poids du corps; 2° son volume ou, ce qui revient au même en vertu de la convention établie plus haut, le poids d'un égal volume d'eau.

I. **Méthode de l'aréomètre de Nicholson.** — L'appareil est en laiton, et la figure (fig. 1) rend inutile sa

description. Il a été lesté de manière à émerger en partie de l'éprouvette pleine d'eau dans laquelle il plonge. La détermination d'une densité comporte trois opérations successives.

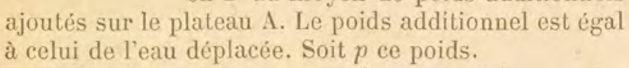


Fig. 1. — Aéromètre de Nicholson.

Première opération. — Placer sur le plateau A des poids marqués jusqu'à l'immersion de la tige jusqu'au repère D.

Deuxième opération. — Déposer le fragment du minéral sur le plateau A et rétablir l'affleurement en D en retirant des poids qui représentent exactement celui du corps. Soit P ce poids.

Troisième opération. — Retirer le corps du plateau A, le déposer sur le plateau C. Il est alors immergé et subit, en vertu du principe d'Archimède, une poussée verticale égale au poids d'eau déplacée. Le système émerge de nouveau, et on rétablit l'affleurement en D au moyen de poids additionnels ajoutés sur le plateau A. Le poids additionnel est égal à celui de l'eau déplacée. Soit p ce poids.

La densité est donnée par le rapport du premier poids au second, $\frac{P}{p} = D$.

Cet appareil commode, très employé autrefois, est facile à transporter, mais peu sensible.

II. **Méthode de la balance hydrostatique.** — L'appareil consiste en une balance de laboratoire modifiée de la manière suivante : au-dessous de l'un des plateaux, celui de droite par exemple, en est suspendu un second au moyen d'un fil de platine très fin et portant un repère.

Première opération. — On dépose le minéral dans le plateau supérieur de droite, on plonge le plateau inférieur dans un vase rempli d'eau que l'on élève jusqu'à ce que le niveau du liquide touche un repère tracé sur le fil, et on met la balance en équilibre à l'aide d'une tare convenable déposée dans le plateau de gauche.

Deuxième opération. — On retire le minéral et on rétablit l'équilibre par des poids marqués. Ceux-ci donnent exactement le poids du corps. Soit 1 gr. 4 ce poids.

Troisième opération. — On enlève les poids et on place le corps dans le plateau inférieur. Il subit une poussée égale au poids du volume d'eau déplacé, et on doit rétablir l'équilibre avec des poids marqués qui représentent exactement la valeur de la poussée, soit 0 gr. 45.

Pour avoir la densité, il suffit d'effectuer le quotient $\frac{1,4}{0,45} = 3,111$.

III. **Balance hydrostatique de Brard.** — C'est une balance hydrostatique dont le bras correspondant au plateau simple porte une division convenable et le long duquel on déplace un curseur de poids déterminé. Les équilibres successifs s'obtiennent par son déplacement. Chaque poids correspond à une position de ce curseur sur le bras de levier, qui a été préalablement étalonné par le constructeur. En somme, les pesées précédentes s'effectuent ici à l'aide d'une balance romaine.

Cet appareil est commode pour la simplicité et la rapidité des pesées.

IV. **Méthode du flacon.** — Elle consiste à évaluer le poids d'eau déplacé par un corps dont on connaît le poids, et nécessite l'emploi d'une balance précise et d'un *pycnomètre*. On appelle ainsi un flacon A (fig. 2) rodé à émeri et dont le goulot peut être exactement fermé par un bouchon de verre B également rodé, traversé par un tube capillaire sur lequel est tracé un repère C.

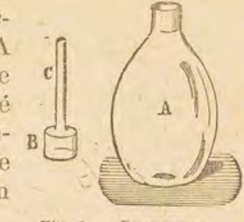


Fig. 2. — Pycnomètre.

Première opération. — On remplit le flacon d'eau, puis on le porte dans une enceinte à température connue en l'y laissant le temps nécessaire. Avec un papier buvard on extrait l'eau de manière à amener son niveau en face du repère C, on le porte sur l'un des plateaux de la balance en posant à côté de lui le corps expérimenté, puis on établit l'équilibre à l'aide d'une tare convenable.

Deuxième opération. — On retire le corps et on le remplace par des poids marqués, puis on rétablit l'équilibre. Les poids ajoutés représentent exactement celui du corps.

Troisième opération. — On enlève les poids marqués. On introduit la substance dans le flacon, que l'on rebouche et que l'on porte dans l'enceinte, dont la température ne doit pas avoir varié. Quand il a acquis cette température, on ramène le niveau de l'eau dans le tube capillaire en face du repère, en aspirant l'excès comme précédemment avec un papier buvard. On porte sur la balance et on rétablit l'équilibre avec des poids marqués qui représentent exactement le poids de l'eau expulsée.

Ici encore, le quotient du poids du corps par celui de l'eau occupant le même volume exprime la densité. Cette méthode est la plus précise.

V. **Balance à spirale de Jolly.** — Les indications pondérales de cet appareil sont analogues à celles du *peson*. Décrivons-le d'abord.

Il consiste essentiellement en une spirale de laiton suspendue à une potence et portant à sa partie inférieure un repère *a*. Au-dessous de celui-ci elle se termine par un plateau de fer-blanc très léger, au-dessous duquel est suspendu par un fil de platine portant un repère *b*, un second plateau en verre très léger. La potence porte un miroir sur lequel sont tracées des divisions et devant lequel est suspendue la spirale. En outre, un vase de verre rempli aux deux tiers d'eau peut être déplacé à l'aide d'un curseur le long de la potence, de façon à immerger le plateau inférieur et le fil de platine jusqu'au repère *b*.

Soit maintenant à trouver la densité d'un solide.

Première opération. — On déplace verticalement le vase de verre rempli d'eau jusqu'à ce que le niveau de celle-ci coïncide avec le repère *b*. On note la division à laquelle s'arrête l'image du repère *a* sur le miroir.

Deuxième opération. — On dépose le corps dont on cherche la densité dans le plateau supérieur; la spirale s'allonge, et on descend verticalement le gobelet jusqu'à ce que le niveau de l'eau coïncide avec le repère *b*. On note la division à laquelle s'arrête le repère *a* dans le miroir.

Troisième opération. — On retire le corps du plateau supérieur, on le place sur le plateau inférieur, et l'on déplace le gobelet jusqu'à ce que le niveau de l'eau

coïncide avec le repère *b*. La spirale s'est raccourcie, et on lit la division à laquelle s'arrête le repère *a*.

Soit 45, par exemple, le nombre de divisions correspondant à l'*allongement* de la spirale sous le poids du corps, soit 12 celui qui correspond à sa *contraction*. La densité sera exprimée par le quotient $D = \frac{45}{12} = 3{,}75$.

Ceci résulte de ce fait que les allongements de la spirale sont proportionnels aux poids qui les déterminent.

Méthode de M. Pisani. — Elle consiste à déterminer le poids du corps à l'aide d'une balance sensible, puis à mesurer directement son volume.

On se sert pour cela d'un tube divisé en centimètres cubes et fractions de centimètres cubes, rempli d'eau en partie. Son niveau s'arrête à une certaine division. On introduit ensuite le corps préalablement pesé dans le tube, il fait remonter le niveau de l'eau à une division nouvelle. La différence entre les deux lectures exprime en fractions de centimètres cubes le volume du corps. Le rapport du poids au nombre ainsi obtenu donne la densité.

Une petite balance très sensible et le tube gradué sont réunis dans un étui portatif facile à emporter en voyage.

Méthode de M. Thoulet. — Elle consiste à déterminer par la méthode du flacon, par exemple, la densité d'un liquide égale à celle du minéral donné, et repose sur ce principe qu'un solide flotte librement au sein d'un liquide de même densité.

On emploiera, par exemple, pour déterminer la densité de l'orthose une solution d'iodure de mercure dans l'iodure de potassium, à laquelle on peut, par une addition convenable d'eau, donner toutes les densités comprises entre 1 et 3,196. L'orthose flottant dans le mélange de ces deux liquides présentant la densité 2,57, possède cette même densité.

Tels sont les différents procédés employés pour obtenir la densité des minéraux. Quelle est maintenant la valeur des résultats obtenus? D'abord, les divers échantillons d'une même espèce donnent généralement des nombres légèrement variables. Ceci tient à un défaut d'homogénéité par suite des cavités qui peuvent exister et qui existent presque toujours dans les échantillons les mieux cristallisés. Il y a aussi à tenir compte des inclusions solides et liquides qui, comme dans le *quartz enhydre,* peuvent acquérir des dimensions considérables. Aussi les résultats seront-ils d'autant plus exacts que le corps aura été réduit en fragments plus menus. Il est à remarquer en outre que les minéraux obtenus synthétiquement sont en général plus denses que les minéraux naturels. Ce fait a été mis hors de doute par les beaux travaux du baron de Schulten, qui a reproduit par voie humide un grand nombre d'espèces minérales.

Indépendamment de la valeur du caractère fourni par la densité à la reconnaissance des espèces, elle a reçu des applications pratiques très intéressantes au point de vue de leur séparation, soit dans le laboratoire du savant, soit dans l'usine de l'industriel.

Pour isoler les divers éléments intimement mélangés dans une roche, on a fréquemment recours à la méthode de M. Thoulet, appliquée de la manière suivante. On remplit un tube muni à sa partie inférieure d'un robinet, d'une solution saturée d'iodure de mercure dans l'iodure de potassium. Puis on concasse l'échantillon en petits grains de dimension aussi uniforme que possible et on introduit ce gravier dans le tube. Les éléments plus denses tombent à la partie inférieure, ceux qui le sont moins surnagent. En employant des liquides de densités différentes on peut ainsi séparer divers minéraux.

Industriellement on sépare les minerais de leur gangue en les réduisant en poudre fine dans un courant d'eau qui entraîne les matières les moins denses. La *battée,* procédé primitif de lavage des alluvions aurifères, est fondée sur ce principe.

CHAPITRE II

PRINCIPES DE CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE

Définition du cristal. — Un *cristal* est, au sens propre du mot, un solide convexe terminé de toutes parts par des faces planes naturelles soumises à certaines lois inhérentes à la structure interne du minéral. A cette structure interne sont intimement liées certaines propriétés physiques qui se manifestent en tout point de la masse, même si l'on a fait disparaître ou altéré artificiellement ses formes extérieures. Par extension, on appelle encore *cristal* un tel milieu. C'est ainsi que l'on est arrivé aux conceptions de *cristaux mous* et de *cristaux liquides,* pour lesquels la considération de formes géométriques extérieures devient illusoire.

Comme nous le verrons ultérieurement, la théorie des formes cristallines repose sur le principe de *discontinuité* de la matière, tandis que celle des diverses propriétés physiques, et en particulier des propriétés optiques, a pour base le principe de *continuité.* L'expérience a continuellement montré une liaison intime entre ces deux ordres de faits, mais nous croyons qu'il y a lieu de distinguer entre le *milieu cristallin* de forme indéterminée et le *cristal* proprement dit, dans lequel la structure spécifique interne se manifeste à l'extérieur par une certaine architecture purement géométrique dont la régularité a frappé d'abord les observateurs.

La notion de symétrie géométrique a précédé la notion de symétrie physique d'un ordre plus élevé et qui n'a été découverte que par une étude approfondie des propriétés du cristal.

LOIS PRINCIPALES

1° *Tout cristal simple est un polyèdre convexe, c'est-à-dire ne présentant aucun angle rentrant.* Exemples : *Grenat,* pl. XVIII, fig. 1, 8, 9, 11 ; *Cuprite,* pl. III, fig. 3 ; *Quartz,* pl. XIII, fig. 1, 9, 11 ; *Spinelles,* pl. VIII, fig. 7.

L'existence d'un seul angle rentrant montre que l'on n'a pas affaire à un individu isolé, mais à une réunion de cristaux simples se pénétrant les uns les autres et présentant des parties communes. Ces sortes d'associations sont tantôt accidentelles quand elles sont dues au hasard, tantôt régulières et soumises à certaines lois. Dans ce dernier cas elles prennent le nom de ma-

cles. Exemples du premier cas : *Barytine*, pl. XII, fig. 7; du second, *Staurotide*, pl. XVI, fig. 14, 15, 16; *Magnétite*, pl. V, fig. 13; *Gypse*, pl. X, fig. 14.

2° **Loi de la constance des angles.** — A première vue, un cristal peut présenter des faces nombreuses (sur certains individus de pyrite on peut en compter jusqu'à 98), qui, par suite de déformations, ne décèlent immédiatement aucun ordre, comme, par exemple, les aiguilles de calcite (pl. IX, fig. 6). Mais un examen plus attentif permet le plus souvent d'en distinguer plusieurs dont le poli, la disposition des stries qui les rayent et d'autres caractères physiques dénoncent l'identité de nature. Si, grâce à l'un des procédés qui seront ultérieurement décrits, on mesure les dièdres qu'elles font deux à deux, on constatera qu'ils sont égaux non seulement sur le même individu, mais sur tous les individus semblables. Ainsi les dièdres des prismes hexagonaux des divers cristaux de quartz sont tous de 120°. Tous les dièdres culminants du rhomboèdre primitif de la calcite (pl. IX, fig. 10) sont égaux à 105°,5; ceux d'un autre rhomboèdre très aplati dit « inverse d'Haüy » et dont les faces sont rugueuses, égaux à 134°,57.

On constate en outre que les faces d'un même dièdre ne sont pas nécessairement de même nature. Ainsi le dièdre formé par deux faces dont l'une appartient au premier rhomboèdre, l'autre au second, a une valeur constante sur tous les cristaux de calcite. Les dièdres de deux faces consécutives de la pyramide hexagonale du quartz (pl. XIII, fig. 2) sont constants, bien que ces faces soient de nature différente, ce qui est visible sur le cristal, où cette particularité se révèle par un inégal développement.

De nombreuses observations de cette nature ont amené Romé de Lisle, à la fin du XVIIIe siècle, à formuler la loi de constance des angles, pressentie déjà dans le courant du XVIIe par l'évêque danois Sténon. On peut l'énoncer ainsi : *Sur tous les individus appartenant à une espèce minérale, le dièdre que forment entre elles deux faces naturelles bien déterminées est invariable.* Les légères variations provenant de la différence de température ou de la pureté de l'échantillon sont très faibles et pratiquement négligeables.

Tout couple de plans parallèles aux deux faces d'un dièdre font entre eux un dièdre égal. Il en résulte immédiatement que les faces d'un cristal ne sont déterminées qu'en *direction* et non en position. Par suite, la figure de cristaux cristallographiquement identiques pourra varier dans de larges limites, et la plupart du temps la régularité de leurs formes sera masquée. Ainsi telle face triangulaire sur un individu se transforme en quadrilatère ou en pentagone sur d'autres. Mais il sera toujours loisible de la déplacer par la pensée parallèlement à elle-même, si l'on a avantage à faire ressortir l'existence d'une régularité particulière.

Mesure des angles dièdres. — L'appareil le plus généralement employé en France est le goniomètre de Wollaston, mais les lois générales de la cristallographie ont été découvertes avec le *goniomètre d'application,* le seul dont pût faire usage Haüy, et nous le décrirons en quelques mots.

Il se compose essentiellement de deux branches d'acier AB, CD (fig. 3), mobiles autour d'un centre, O. Pour mesurer un dièdre on applique les parties *ao* et *co* des branches sur ses deux faces, de telle manière que leur plan soit normal à l'arête; *ao* et *co* étant parallèles à OB et OD, les angles *aoc* et BOD sont égaux.

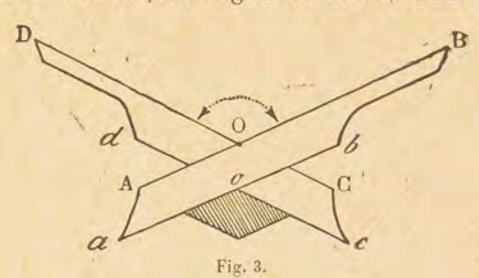
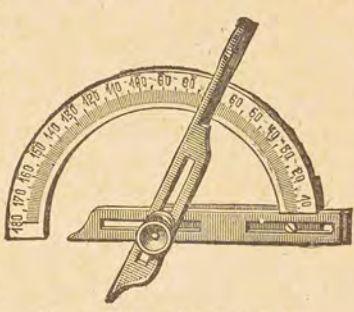


Fig. 3.

On applique ensuite l'instrument sur un rapporteur, de façon que le point O coïncide avec son centre, et OB, par exemple, avec le degré *o*. L'arc compris entre les deux branches mesure l'angle cherché.


Fig. 4. — Goniomètre d'application.

On n'emploie plus ce goniomètre que lorsqu'il s'agit d'évaluer des dièdres dont les faces ayant une certaine dimension sont dénuées de pouvoir réflecteur. La figure 4 montre l'instrument dans la forme qu'on lui donne maintenant, et qui diffère peu de celle que lui avait donnée Carangeot, son inventeur.

Goniomètre de Wollaston. — Les cristallographes français ne se servent que de la disposition présentant l'axe horizontal.

Principe. — La méthode consiste à amener successivement les deux faces du dièdre dans une même direction bien déterminée par une rotation susceptible d'être mesurée exactement. L'angle de rotation nécessaire à obtenir ce résultat est le *supplément* de l'angle donné. Certains auteurs ne font usage que de ce supplément, Dana par exemple.

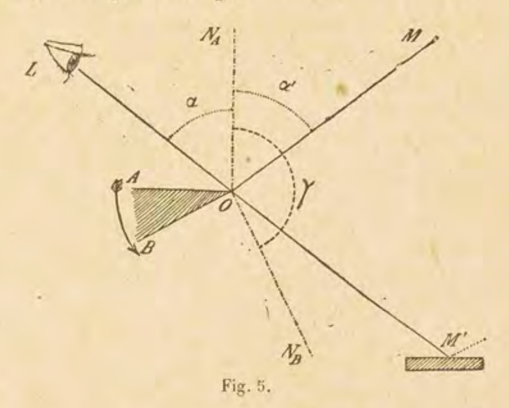


Fig. 5.

Supposons que le plan du tableau soit un plan vertical contenant en L l'œil de l'observateur, en M une mire lumineuse, en M' un point de repère (fig. 5). La portion hachée AOB est la section du dièdre à mesurer, supposé tel que son arête qui se projette en O soit normale au plan du tableau.

Cela étant, faisons tourner le cristal autour de l'arête du dièdre de façon à ce que l'observateur voie en O sur le bord du cristal l'image de la mire lumineuse M. Cette image peut être amenée à coïncider avec le

repère M′ vu directement, et cette coïncidence détermine une direction invariable du rayon visuel incident OL. Elle caractérise en outre une position unique et bien déterminée de la face OA, et par suite de sa normale ON_A qui est telle que l'on a : angle α=angle α' (l'angle d'incidence étant égal à l'angle de réflexion).

Faisons maintenant tourner le cristal, c'est-à-dire le dièdre AOB, autour de son arête dans le sens de la flèche. La face OB viendra à un certain moment dans le prolongement de la position primitive de OA, sa normale ON_B sera substituée à ON_A, et de nouveau nous aurons coïncidence entre M′ et l'image de la mire M, mais cette fois après réflexion sur la face OB qui aura pris la place de OA. L'angle γ dont il a fallu tourner pour amener ON_B en ON_A est donc le supplément de l'angle cherché. Donc : angle AOB$=360°-\gamma$.

Appareil. — Il se compose essentiellement d'un limbe vertical LL′ (fig. 6) gradué sur la tranche en degrés et en demi-degrés, fixé à un axe horizontal CE susceptible de tourner à frottement doux dans une douille BB′. Celle-ci est encastrée dans une pièce rigide

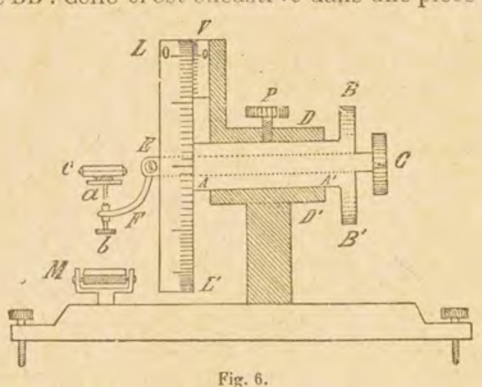


Fig. 6.

(partie hachée de la figure) fixée sur un pied à vis calantes. La douille AA′ peut elle-même tourner à frottement dans le tourillon grâce à un large bouton à molette BB′ qui la termine. On voit ainsi que l'on peut animer l'axe EC d'un double mouvement de rotation : 1° en fixant la douille à molette BB′ au moyen de la vis de pression P et en manœuvrant le bouton C, extrémité de l'axe; 2° en desserrant la vis P et en manœuvrant le bouton BB′, ce qui entraîne à la fois l'axe EC et le limbe.

A l'extrémité E de l'axe EC, est fixé un arc de cercle articulé F, appelé *genou*, mobile dans un plan perpendiculaire et portant à son extrémité une tige *a*. Celle-ci est munie d'une petite plate-forme sur laquelle est fixé le cristal à l'aide d'un peu de cire. La plupart des instruments portent en outre, fixé à leur pied, un miroir M, mobile de telle façon que sa surface soit toujours normale au plan du limbe.

Réglage. — On choisit généralement comme mire une ligne horizontale bien visible et éloignée, telle que l'arête d'un toit, par exemple, puis, mettant l'œil près du limbe, on cherche à apercevoir son image réfléchie à la surface de celui-ci. Il est vertical quand la ligne et son image se trouvent dans le prolongement l'une de l'autre, résultat que l'on obtient facilement à l'aide des vis calantes. On choisit comme repère l'image de la même ligne dans le miroir M′ convenablement disposé.

On peut encore se servir comme mire et comme repère de deux points lumineux (deux bougies) situés sur la même verticale. Dans ce cas, pour amener la verticalité du limbe il suffit d'amener la droite qui les joint au parallélisme avec son image réfléchie sur celui-ci.

Mise en place du cristal. — On fixe, avec de la cire molle, le cristal *c* sur le petit disque *a* de manière à ce que l'arête du dièdre à mesurer soit sensiblement située dans le prolongement de l'axe EC (fig. 6). Pour s'assurer qu'il en est ainsi, on fixe le limbe au moyen de la vis de pression P, après avoir amené le zéro de la graduation à coïncider avec celui du vernier V. Puis, plaçant l'œil dans un plan parallèle au limbe, on cherche à apercevoir la mire sur la première face du cristal, en faisant tourner celui-ci à l'aide du bouton C. En tournant, s'il y a lieu, la tige *a*, on obtient assez facilement la superposition de l'image avec le repère M′, ou encore avec l'image de la mire donnée par le miroir M. On opère de même avec la seconde face, mais en se servant pour la déplacer du genou F. La position de l'œil doit rester invariable pour les deux coïncidences.

Mesure. — La coïncidence des zéros du limbe et du vernier étant établie, de même que celle du repère et de l'image à l'aide du bouton C, on desserre la vis de pression P et, agissant sur le bouton BB′ de la douille devenue libre, on amène la coïncidence relative à la seconde face. On lit, à l'aide du vernier, la rotation effectuée par le limbe qui donne la mesure du supplément de l'angle des faces. La figure 7 montre l'aspect réel de l'instrument.

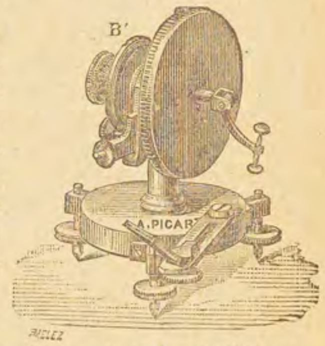


Fig. 7. — Goniomètre de Wollaston.

Mallard, en vue d'obtenir des mesures plus précises et de faciliter la mise au point du cristal, a modifié ce goniomètre en remplaçant l'ensemble du genou et de la tige par une plate-forme verticale animée de deux mouvements rectangulaires permettant d'obtenir à l'aide de vis un centrage rapide. En outre, deux arcs de cercle à crémaillère servent à obtenir l'horizontalité de l'arête. Un collimateur projette à la fois sur le miroir et sur le cristal l'image d'une fente de forme régulière, une croix de Malte par exemple, et un verre coloré placé sur le trajet des rayons tombant sur le miroir ne permet aucune confusion entre la mire et l'image, la première étant seule colorée.

Répartition sur le cristal des faces de même nature. — Eléments de symétrie. — Axes, centre, plans de symétrie. — Les faces de même nature d'un cristal ne sont point réparties au hasard d'une manière quelconque, mais sont, au contraire, groupées d'une façon régulière par rapport à certains éléments géométriques dépendant de la nature du milieu cristallin lui-même.

Axes. — Supposons un cristal quelconque sur lequel on peut distinguer les faces de même nature. Il sera toujours possible de les répartir en différents groupes tels que dans chacun d'eux l'une des faces devienne successivement parallèle à toutes les autres par une rotation égale à une partie *aliquote de la circonférence* autour d'une certaine droite. D'après ce qui précède, une *simple translation* pourra amener la *coïncidence*. Si l'on suppose les faces du groupe déplacées parallèlement à elles-mêmes de manière à passer toutes par

le même point de la droite, le parallélisme se transformera en coïncidence. Une telle droite, qui n'est déterminée qu'en direction, s'appelle *axe de symétrie*. Toutes les observations effectuées montrent, et la théorie confirme, que les seules rotations pouvant amener ce résultat sont mesurées par des arcs de *un sixième, un quart, un tiers* ou *une demi-circonférence*.

Le dénominateur de ces fractions, qui indique le nombre de rotations à effectuer pour avoir la circonférence entière, est dit *ordre de l'axe*.

Il n'y a donc de possibles que des axes d'ordre : *deux* (axe binaire), *trois* (axe ternaire), *quatre* (axe quaternaire), et *six* (axe sénaire).

Centre. — Imaginons un point pris à l'intérieur du cristal, l'observation montre qu'en général à toute face donnée en correspond une autre de même nature située de l'autre côté et parallèle à la première. On peut d'ailleurs toujours déplacer l'une d'entre elles de manière à ce qu'elles soient situées de part et d'autre à égale distance du point que l'on appelle *centre de symétrie;* il peut d'ailleurs être pris n'importe où à l'intérieur du cristal.

Plan de symétrie. — C'est un plan mené par un centre de symétrie tel qu'à toute face inclinée sur lui d'une façon quelconque en corresponde une seconde de même nature, de même inclinaison et située de l'autre côté. En déplaçant convenablement la seconde parallèlement à elle-même, les deux intersections viendront se confondre.

Relation entre les éléments de symétrie d'un même cristal. — Les éléments de symétrie que l'on vient de définir peuvent se présenter isolés, mais il existe entre eux des relations de coexistence telles que la présence simultanée de plusieurs d'entre eux entraîne nécessairement l'existence d'un ou plusieurs autres. Elles sont du ressort de la géométrie élémentaire et se démontrent en toute rigueur ; nous ne ferons que les énoncer.

I. Tous les axes et tous les plans de symétrie d'un même cristal se coupent en un seul point, qui est un centre de symétrie.

II. L'existence simultanée de deux éléments, axe, centre et plan, entraîne l'existence du troisième si toutefois l'axe est d'ordre *pair*.

III. A tout axe d'ordre pair correspond un plan de symétrie passant par le centre, si celui-ci existe.

IV. Réciproquement, tout plan de symétrie passant par le centre entraîne l'existence d'un axe d'ordre pair.

V. Tout axe d'un certain ordre admettant *un* axe binaire dans un plan qui lui est perpendiculaire, en admet nécessairement dans ce même plan un nombre égal à son numéro d'ordre et faisant entre eux des angles égaux. Si l'axe est d'ordre pair, ces axes binaires sont de deux espèces ; s'il est d'ordre impair, d'une seule.

Ainsi, si un axe ternaire admet dans un plan perpendiculaire un axe binaire, il en admet deux autres, et ces trois droites font entre elles un angle égal au sixième de la circonférence. Ces axes sont d'ailleurs d'une seule espèce.

Supposons maintenant un axe sénaire admettant un axe binaire dans un plan perpendiculaire. Il en faudra six faisant entre eux un angle de 30°; de plus, ils seront alternativement d'espèce différente.

Formes simples. Forme primitive. — En possession de la loi de constance des angles et des éléments de symétrie, nous pouvons maintenant classer les différentes faces d'un cristal donné, quel que soit leur nombre. Il nous suffira pour cela de pouvoir reconnaître leur identité de nature.

Par un point intérieur du cristal pris comme centre faisons passer les axes de symétrie qui ne sont, comme nous le savons, déterminés qu'en direction. Choisissons trois d'entre eux d'ordre le plus élevé, et sur chacun prenons de part et d'autre deux points équidistants du centre, des longueurs égales devant être affectées aux axes de même ordre. Déplaçons ensuite parallèlement à elles-mêmes les faces d'une même nature, relatives à chacun des axes choisis, de façon à les faire passer par le point situé du même côté du centre.

Nous obtiendrons ainsi un polyèdre. Les faces d'une nature différente en donneraient un second, ainsi de suite.

Tous ces solides auront ou la même symétrie ou une symétrie moindre susceptible de se déduire par simplification de la plus élevée d'entre elles.

Or, parmi toutes ces différentes *formes* distinctes il y en a toujours une parallélipipédique de laquelle nous pourrons, à l'aide d'une loi énoncée plus loin, déduire toutes les autres. On l'appelle *forme primitive.*

Il peut arriver que le nombre d'axes de symétrie soit inférieur à trois. Dans ce cas, on prendrait trois directions de déplacement parallèles aux intersections de trois faces du cristal de nature différente.

L'observation a montré que les formes primitives de tous les cristaux connus se réduisent à *sept* possédant chacune une symétrie maxima particulière.

En leur attribuant des dimensions déterminées, qui varient pour une même symétrie avec la nature du minéral considéré, on substitue aux relations de parallélisme des faces de même nature des relations de coïncidence.

On appelle *axes cristallographiques* des formes primitives, les longueurs qui servent à définir leurs dimensions. Ces longueurs sont ordinairement comptées sur les axes de symétrie *si ceux-ci sont en nombre suffisant.*

Les formes primitives sont au nombre de *sept :* 1° le *cube;* 2° le *prisme hexagonal;* 3° le *rhomboèdre;* 4° le *prisme quadratique;* 5° le *prisme orthorhombique;* 6° le *prisme clinorhombique;* 7° le *prisme triclinique.*

3° **Loi des troncatures rationnelles. Principe des décroissements.** — Haüy a été amené à la notion de *forme primitive* par une voie différente. Ayant par hasard brisé un cristal de spath d'Islande, il remarqua que les fractures s'étaient produites suivant certaines directions planes ou *joints naturels,* pour lesquelles la division du minéral est particulièrement facile. Il constata qu'elles étaient au nombre de trois, inclinées du même angle les unes sur les autres pour un échantillon quelconque, et que l'on pouvait de la sorte décomposer un cristal de calcite en une infinité de petits rhomboèdres tous semblables entre eux. Il en conclut que la particule dernière devait avoir la même forme, qu'un individu quelconque devait être le résultat d'un empilement de particules semblables, et que les faces naturelles devaient avoir pour origine une loi particulière d'empilement.

Ces particules dernières obtenues par voie de *clivage,* et qu'Haüy nommait *particules intégrantes,* présentent les six formes que nous avons appelées *primitives* et jouissent des symétries correspondantes.

Considérons une particule intégrante, nous pourrons, en lui juxtaposant un certain nombre, d'ailleurs aussi grand que nous voudrons, de particules identiques, former un solide géométriquement semblable.

Les arêtes de ce solide seront le prolongement de celles de la particule initiale et devront en être nécessairement le *même multiple entier,* car on sait que les arêtes de deux polyèdres semblables sont proportionnelles. Nous laisserons d'ailleurs indéterminé ce multiple commun et nous prendrons pour forme primitive le solide ainsi construit. Par des soustractions de molécules convenablement effectuées sur ce *noyau,* on donnera naissance à des faces planes qui correspondront à celles des formes dérivées.

Il sera d'ailleurs toujours possible de grouper entre elles un certain nombre de particules juxtaposées en parallélipipèdes possédant les mêmes angles que la particule intégrante, mais dont les dimensions sont des multiples quelconques de celles de cette dernière; a, b, c, étant les arêtes de l'élément irréductible, celles du groupe seront $a = ma$, $b = nb$, $c = pc$ (m, n, p, étant des nombres entiers). On prendra alors pour noyau (indéterminé comme l'on sait) celui qui aura pour arêtes les longueurs $mnp.a$, $mnp.b$, $mnp.c$, et on pourra le considérer comme uniquement formé de ces éléments complexes, que nous appellerons *particules soustractives* ou *éléments soustractifs.* A chaque élément soustractif correspondra une loi de décroissance particulière.

Genèse d'une troncature sur les arêtes. — Supposons un noyau fondamental, il conservera ce caractère si sur chacune des faces d'un même trièdre nous empilons un même nombre de couches successives de particules soustractives juxtaposées.

Pour obtenir une troncature sur une de ses arêtes, considérons le noyau dont la face supérieure est COB (fig. 8). Sur elle empilons successivement plusieurs couches de particules soustractives à chacune desquelles on aura soustrait, du côté de l'arête à modifier, la rangée de particules adjacentes à l'arête terminale de la couche précédente. $C^1O^1B^1$, $C^2O^2B^2$, $C^3O^3B^3$, etc., seront les diverses couches. On formera de la sorte un édifice scalariforme tel que ses arêtes saillantes sont dans un même plan. On voit que la direction de celui-ci est indépendante des dimensions absolues de la particule soustractive et ne dépend que du rapport de ses dimensions AO et AO^1. On voit de plus que les longueurs BD et B^3D que ce plan intercepterait sur les arêtes du noyau supposé complet, sont des multiples entiers des dimensions relatives AO et AO^1.

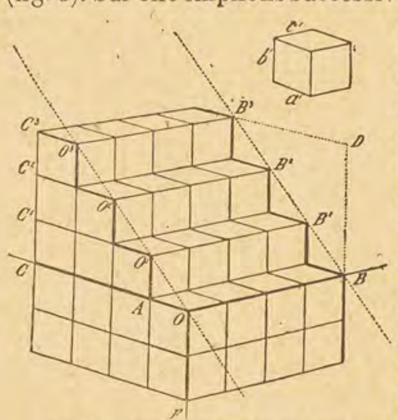


Fig. 8. — Décroissement sur une arête.

Mais les particules soustractives étant excessivement petites, les anfractuosités de la surface brisée scalariforme sont invisibles à l'œil, qui ne perçoit qu'un plan, dont la position est déterminée par le rapport $\frac{BD}{B^3D}$ qui est constant, quelque petites que soient les longueurs AO, AO^1. Les termes de cette fraction sont toujours des nombres entiers très simples.

On pourra donc toujours remplacer sur la forme fondamentale une arête par un plan qui lui soit parallèle, à condition qu'il détache sur chacune des deux autres arêtes adjacentes des longueurs multiples de l'unité relative à l'arête considérée.

Théoriquement, de tels plans peuvent être en nombre infini, mais, comme on le voit, ils ne sont pas quelconques et ne peuvent varier en inclinaison que par sauts brusques. Il y a discontinuité.

Genèse d'une troncature sur les angles. — Soit une face du noyau fondamental ZOXY (fig. 9), et un élément soustractif dont les dimensions sont ma, nb, pc (a, b, c, étant celles de la particule intégrante). Sur la face XOY posons une première couche de particules soustractives dont nous avons supprimé l'élément adjacent au sommet O, et menons la diagonale A^1A^2 de la base de cet élément.

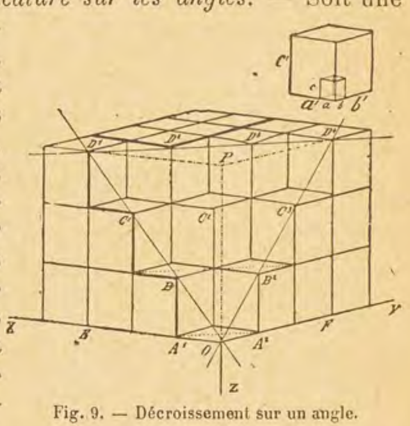


Fig. 9. — Décroissement sur un angle.

A cette première couche superposons-en une seconde après suppression de la rangée diagonale parallèle à A^1A^2 et contiguë à l'élément précédemment soustrait. Continuons l'addition de pareilles couches en retrait chacune sur la précédente d'une rangée diagonale d'éléments soustractifs.

Le résultat sera une espèce d'édifice dans lequel l'angle O sera remplacé par une sorte de troncature polyédrique telle que tous les sommets saillants des particules conservées sont dans un même plan.

La dernière couche ajoutée peut être considérée comme faisant partie du noyau fondamental, qui, comme nous le savons, est indéterminé.

Nous remarquerons, comme précédemment, que la position du plan contenant les sommets saillants (plan OD^1D^4 de la figure) ne dépend en aucune manière des dimensions absolues de la particule soustractive, que nous pourrons supposer aussi petite que nous voudrons. Les anfractuosités de la surface brisée deviendront négligeables, et l'œil ne percevra qu'un plan remplaçant l'angle O par *troncature.*

Supposons maintenant qu'au lieu de couches incomplètes nous ayons empilé des couches complètes. Nous aurions engendré le trièdre marqué en lignes ponctuées sur la figure et ayant pour arêtes PO, PD^1, PD^4. La direction du plan est complètement déterminée par ces trois segments, dont chacun est égal au *même multiple* de la dimension de la particule soustractive, qui est elle-même un multiple de celle de la particule fondamentale correspondante. Nous pouvons donc énoncer la loi suivante : *Tout plan tronquant un angle de la forme primitive, détache sur les trois arêtes adjacentes au sommet des longueurs multiples de l'unité relative à l'arête considérée.*

Ces unités qui sont proportionnelles aux trois dimensions de la particule intégrante a, b, c sont *incom-*

mensurables entre elles, quand elles ne sont pas identiques. Elles portent parfois le nom de *paramètres*.

Remarques. — La loi énoncée pour une troncature parallèle à une arête n'est qu'un cas particulier de cette dernière, si l'on considère cette troncature comme la limite d'un plan détachant des segments constants sur deux arêtes adjacentes du trièdre et un segment indéfiniment croissant sur la troisième.

Pour les mathématiciens, *la loi des troncatures rationnelles* s'appelle loi des *caractéristiques entières*. Ce nouvel énoncé absolument équivalent est dû à la considération des segments algébriques qui définissent la position des faces.

4° **Loi de symétrie.** — Les relations angulaires entre les faces dérivées d'une forme primitive ne présentent pas de loi simple; il n'en est pas de même pour les segments qu'elles déterminent sur les arêtes de la forme primitive, comme nous venons de le démontrer.

Rappelons que les divers éléments géométriques d'un cristal sont les angles, les arêtes, les faces. Leur répétition est, comme nous le savons, assurée sur chaque solide par la *symétrie* qui lui est propre. L'observation a conduit Haüy à l'énoncé de la loi suivante :

Si dans un cristal un élément est modifié, tous les éléments semblables le seront en même temps et de la même manière.

Deux *arêtes* sont semblables quand, ayant même longueur sur la forme primitive, elles appartiennent à des dièdres égaux.

Deux *angles solides* sont semblables quand ils sont égaux ou symétriques.

Par convention, les éléments semblables sont représentés par le même symbole.

Ainsi dans le prisme droit à base rhombe (fig. 10) sont semblables : 1° quatre angles A, 2° quatre angles E, 3° huit arêtes AE, 4° deux arêtes AA, 5° deux arêtes EE. Si l'on remplace l'un des angles E, par exemple, par un seul plan, il devra se répéter sur les trois autres d'après la loi de symétrie.

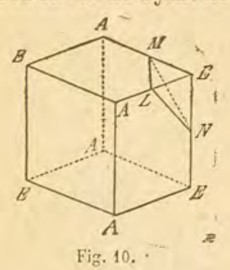


Fig. 10.

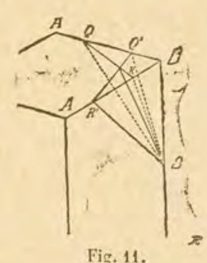


Fig. 11.

Mais, d'après cette même loi, les éléments semblables doivent être semblablement modifiés, et il peut se présenter deux cas : 1° le plan sécant LMN (fig. 10) détache deux *quantités égales* sur deux arêtes *semblables*, alors il se suffit à lui-même; 2° le plan sécant QRS détache deux longueurs inégales EQ, ER (fig. 11) sur les arêtes semblables EQ, ER', alors la loi de symétrie exige l'existence d'un second plan Q'R'S réciproque du premier, détachant, lui, sur ces arêtes des longueurs ER', EQ' et la même longueur ES sur la troisième. Tous les angles E devront être modifiés de la même manière et être remplacés chacun par un double plan. L'existence d'*un seul plan* sur un angle E entraîne donc celle de *sept* autres réunis deux à deux en vertu de la symétrie particulière du prisme orthorhombique.

Si la modification s'était produite sur un angle A dans l'exemple choisi, on tirerait les mêmes conclusions.

Si maintenant, au lieu d'une troncature effectuée sur un angle, il s'agissait d'une modification parallèle à une arête, alors ou bien les deux autres arêtes concourantes sont de nature différente, ou bien elles sont de même nature. Dans le premier cas, un plan se suffit à lui-même et devra, en vertu de la loi de symétrie, se reproduire sur toutes les arêtes semblables.

Si elles sont de même nature : 1° les segments détachés sont égaux et la loi de symétrie est satisfaite; 2° ils sont inégaux, et la loi de symétrie exige un second plan relatif à la même arête et détachant des segments réciproques sur les deux arêtes concourantes. A l'arête se sera substitué un biseau qui devra se reproduire sur toutes les arêtes semblables.

Systèmes cristallins. — *Généralités.* — On appelle système cristallin l'ensemble des formes primitives qui possèdent une même symétrie maxima. Celles qui appartiennent au même système ne varient que par leurs dimensions. Aux *éléments de symétrie cristallographique* déterminés seulement en direction correspondent, pour chacun des solides choisis, des axes de *symétrie géométrique* déterminés et en direction et en longueur. La *symétrie géométrique* du polyèdre se traduira par des coïncidences avec lui-même dans différentes positions obtenues par des rotations autour de ses axes de symétrie géométrique.

On exprime ce fait en disant qu'il y a pour une rotation donnée *restitution des lieux du sommet*.

Par exemple, un prisme quadratique (à base carrée) reviendra en coïncidence avec lui-même pour trois rotations de 90°, 180° et 270° autour de son axe géométrique quaternaire (joignant les milieux des bases carrées), ou encore pour une rotation d'une demi-circonférence autour d'un de ses axes géométriques binaires de première espèce (joignant les milieux de deux faces verticales opposées) ou de seconde espèce (joignant le milieu de deux arêtes verticales).

Il y a sept systèmes cristallins correspondant aux sept genres de formes primitives. Ce sont :

1° Le système *cubique* ou terquaternaire, caractérisé par trois axes de symétrie quaternaire; forme primitive, le *cube*.

2° Le système *hexagonal*, caractérisé par un axe sénaire; forme primitive, prisme *hexagonal régulier*.

3° Le système *quadratique*, caractérisé par un seul axe quaternaire; forme primitive, prisme droit à base carrée ou *quadratique*.

4° Le système *rhomboédrique*, caractérisé par un axe ternaire. La forme primitive est un *rhomboèdre*, parallélipipède dont les arêtes sont toutes égales en longueur et terminé de toutes parts par six rhombes identiques.

5° Le système *orthorhombique*, caractérisé par trois axes binaires rectangulaires; la forme primitive peut être soit un prisme droit à base rectangle, soit un prisme droit à base rhombe, parallélipipèdes ayant même symétrie et pouvant se déduire simplement l'un de l'autre par l'application de la loi de symétrie. Les cristallographes français ont choisi le prisme droit à base rhombe ou *orthorhombique*.

6° Le système *clinorhombique* ou système *binaire*, caractérisé par l'existence d'un seul axe binaire. La forme primitive peut être *ad libitum* soit un prisme

oblique à base rectangulaire, soit un prisme oblique à base de losange, parallélipipèdes ayant même symétrie et se déduisant facilement l'un de l'autre. Les cristallographes français ont choisi le prisme oblique à base rhombe.

7° Le système *triclinique*, qui n'a plus qu'un centre de symétrie. La forme primitive est un parallélipipède quelconque.

Il existe pour chaque système un plus grand nombre d'éléments de symétrie que ceux que nous venons d'indiquer et qui sont suffisants à le caractériser. Leur existence résulte des théorèmes énoncés plus haut à propos de la symétrie; on les indiquera à propos de chaque système.

Axes cristallographiques. — Ce sont des longueurs qui servent à déterminer les dimensions du parallélipipède pris pour forme fondamentale. Un parallélipipède quelconque dépend de six éléments, et il est complètement déterminé si l'on connaît la direction de trois arêtes aboutissant à un même sommet et les dimensions correspondantes du solide. On s'arrange en général pour que ces directions coïncident avec les axes de symétrie de plus haut degré, mais là règne une certaine indétermination, sauf pour le système cubique. C'est ainsi que, pour le système quadratique, on s'accorde à prendre pour l'un des axes cristallographiques l'axe de symétrie quaternaire, mais il y a en outre quatre axes binaires de deux natures. Les uns choisissent pour axes cristallographiques les axes de première espèce, joignant les milieux des faces latérales, les autres les axes de deuxième espèce, joignant les milieux des arêtes latérales.

Dans le système rhomboédrique on prend indifféremment pour axes cristallographiques soit l'axe ternaire et deux des axes binaires, auxquels on joint le troisième par raison de symétrie, soit trois droites issues du centre et parallèles aux arêtes culminantes qui ne sont point des axes de symétrie.

Dans le système clinorhombique, l'un des axes cristallographiques est toujours l'axe binaire; les deux autres sont situés d'une façon quelconque dans le plan de symétrie.

Enfin, dans le système triclinique ils sont tous pris arbitrairement, assujettis seulement à être parallèles aux arêtes d'un trièdre.

Nous avons dit que tous les polyèdres pris comme formes primitives étaient des parallélipipèdes. Il semblerait à première vue que le système hexagonal fît exception; le prisme hexagonal est en réalité décomposable en trois prismes orthorhombiques de 120°.

Dimensions des formes primitives. — On sait que la dimension absolue de la particule intégrante est indéterminée et que, par suite, tous les parallélipipèdes semblables sont susceptibles de représenter la forme primitive.

Il y a donc une dimension complètement arbitraire, ce qui ramène à cinq le nombre de quantités nécessaire à sa détermination, à savoir, les trois angles d'un trièdre et le rapport de deux dimensions linéaires à la troisième.

En vertu des relations de symétrie, certaines de ces quantités deviennent égales et le nombre des conditions s'abaisse à mesure que le degré de symétrie s'accroît.

La détermination complète d'une forme primitive clinorhombique n'exige plus que trois conditions; celle d'une forme orthorhombique, deux; celle d'une forme hexagonale, rhomboédrique ou quadratique, une seule; enfin, la forme cubique n'en exige aucune.

Cube. — Un cube est déterminé quand on connaît sa longueur d'arête, or celle-ci est arbitraire; donc dans ce système tous les angles et toutes les faces possibles sont déterminés d'avance.

Prisme hexagonal. — Il est indéterminé, car il n'existe à priori aucune relation entre la base et la hauteur. Mais on convient de prendre pour hauteur de la forme primitive celle d'une pyramide hexagonale provenant d'une modification sur les arêtes.

Prisme quadratique. — Le cas est le même que pour le prisme hexagonal. On prendra pour hauteur du prisme celle d'une pyramide quadratique observée sur le cristal.

Rhomboèdre. — Il est complètement déterminé quand on connaît l'angle dièdre de deux faces culminantes consécutives.

Prisme orthorhombique. — Si l'on prend pour axes cristallographiques les trois axes de symétrie rectangulaires, on aura à déterminer le rapport de deux d'entre eux au troisième.

Prisme clinorhombique. — On détermine l'inclinaison de la base sur les arêtes du prisme choisi comme fondamental, puis le rapport commun des deux axes parallèles à la base, à l'axe vertical.

Prisme triclinique. — Ici la symétrie ne permet pas de réduire le nombre des données; il faut connaître les angles que font entre eux les trois axes et les rapports de deux axes cristallographiques au troisième.

Remarque. — Dans la théorie des troncatures on change le système d'axes cristallographiques suivant la nature de l'angle considéré.

Éléments des formes primitives; leur notation. — Il y a à considérer : 1° les angles; 2° les arêtes; 3° les faces (fig. 12). On note ces éléments sur la forme la moins symétrique, qui est un parallélipipède quelconque. A cause de l'existence du centre, tous les éléments opposés sont identiques. Les angles se représentent par les lettres minuscules a, e, i, o; les arêtes des bases, par b, c, d, f; les arêtes latérales, par g et h; enfin, les faces par p, m, t. On suppose toujours le parallélipipède placé de telle sorte que sa base supérieure soit inclinée d'arrière en avant, les arêtes latérales étant verticales, et on note a l'angle postérieur supérieur; il est adjacent aux arêtes b et c; l'angle supérieur de gauche se note e et est adjacent aux arêtes b et d. L'angle supérieur de droite se nomme i et est adjacent aux arêtes c et f. L'angle antérieur supérieur se note o et est adjacent aux arêtes d et f. Quant aux arêtes verticales, celles qui aboutissent en a et en o sont des arêtes h; en e et en i, des arêtes g. Le centre double tous ces éléments.

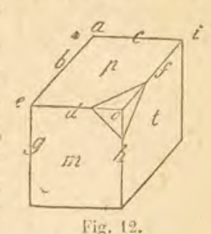


Fig. 12.

On déduit les notations des formes plus symétriques de celle-ci en affectant de la même lettre les éléments qui deviennent égaux, et cette lettre est celle qui a le rang le moins élevé dans l'ordre alphabétique. Quant aux faces, on désigne la base supérieure par p, les pans verticaux par m à gauche, t à droite.

Dans le cube, tous les angles sont égaux : on les

note a; toutes les arêtes identiques : on les note b; toutes les faces égales : on les note p.

Genèse d'une forme cristalline. — On appelle *forme cristalline* l'ensemble des faces résultant de la répétition, à l'aide des éléments de symétrie, d'une troncature rationnelle unique effectuée sur la forme primitive. Celle-ci prend le nom de *face déterminante*.

La *forme* peut être *fermée* si elle constitue un polyèdre, *ouverte* si elle ne suffit pas à limiter le cristal dans tous les sens, et alors celui-ci ne pourra exister réellement que par la *coexistence d'autres formes*.

Au point de vue du nombre des faces, elle pourra être *oblique* si elle en présente un nombre maximum, *réduite* si ce nombre est inférieur à celui de la forme oblique. Cette réduction provient uniquement de ce fait que, la face déterminante occupant une position particulière par rapport à certains éléments de symétrie, plusieurs faces distinctes sur la forme oblique viennent à se superposer. Ainsi la forme oblique du système cubique possédant, comme on le verra plus loin, 48 faces (hexoctaèdre), le cube lui-même est une forme réduite, huit faces de la forme oblique se confondant en une seule, quand la face déterminante est normale à un axe quaternaire.

Il y a forme réduite quand la face déterminante est ou *parallèle* ou *normale* à l'un des axes de symétrie. Dans le premier cas, la forme est dite *forme parallèle;* dans le second, *forme normale*.

Ces définitions données, voyons comment l'on pourra construire une forme au moyen d'une face déterminante. On fera tourner successivement cette face autour de chaque axe, et si n est son numéro d'ordre, on en obtiendra ainsi $(n-1)$ autres. Mais, de ce fait, si la facette déterminante n'est ni parallèle ni normale à aucun axe, deux quelconques d'entre elles seront toujours distinctes. On n'aura ainsi qu'une demi-forme. Si maintenant on fait intervenir le centre, à chacune de ces faces en correspondra une autre, ce qui doublera leur nombre et donnera la forme complète. Cette seconde espèce de faces possède la symétrie axiale de la première, mais est, en général, d'une autre nature. Pour les distinguer, la première forme a reçu le nom de *forme directe*, la seconde celle de forme *inverse*.

Donnons comme exemple la construction de la forme oblique du système cubique.

Les éléments de symétrie de ce solide sont : 1° trois axes quaternaires; 2° quatre axes ternaires; 3° six axes binaires; 4° un centre.

Soit une facette déterminante obtenue par troncature sur la forme primitive et telle qu'elle ne soit ni parallèle ni normale à aucun des axes.

Une rotation autour de l'un des axes quaternaires en donnera trois autres; il y a trois de ces axes, donc neuf faces nouvelles.

Une rotation autour de l'un des axes ternaires en donne deux autres; il a quatre de ces axes, donc huit faces nouvelles.

Une rotation autour de l'un des axes binaires en donne une nouvelle; il y a six axes binaires, donc six faces nouvelles.

A la face déterminante sont donc venues s'ajouter, de par la symétrie axiale, $9+8+6$ faces nouvelles, donc en tout 24 faces. Tel est le nombre de faces de la forme *directe*. En faisant intervenir le centre, nous en avons 24 nouvelles amenées par la symétrie *centrale*, donc 48 faces. La forme oblique possède donc 48 faces disposées en six groupes de 8 autour des axes quaternaires, d'où le nom d'*hexoctaèdre*.

Remarque. — Nous n'avons pas fait intervenir les *plans de symétrie* dans cette construction, car, comme ils sont une *conséquence* de la *coexistence* des axes et du centre, leur considération est inutile, puisqu'ils feraient double emploi.

HÉMIÉDRIE

Il n'a été question jusqu'ici que des formes présentant une symétrie *maxima* observable sur des parallélipipèdes possédant un centre, et on a admis implicitement que les éléments géométriques se confondaient avec les éléments physiques. Il n'en est en réalité pas toujours ainsi, et il se peut qu'à des éléments géométriques purs identiques correspondent des éléments physiques non identiques. Dans ce cas, l'énoncé de la loi de symétrie ne s'applique qu'à ces derniers.

Si l'on considère, par exemple, un cube, tous ses angles sont identiques géométriquement et, par suite, doivent être affectés de modifications identiques. Or, l'observation montre que certaines espèces minérales ne possèdent que la moitié des modifications nécessitées par la loi.

Ainsi les cubes de pyrite ne portent souvent les facettes modifiantes de l'octaèdre qu'à une seule des extrémités de chaque grande diagonale, ces facettes alternant autour d'une face du cube. On en conclut qu'il n'y a pas parité de propriétés dans les deux sens d'une même droite.

Les éléments de symétrie peuvent donc dans certains cas subir une réduction. D'une manière générale, le nombre des faces d'un cristal *holoèdre*, c'est-à-dire possédant la symétrie maxima, peut s'abaisser à la moitié, d'où le nom d'*hémiédries* donné à ces symétries réduites.

Au point de vue expérimental, il existe trois modes particuliers d'hémiédrie : l'*H. plagièdre*, l'*H. à faces parallèles*, l'*H. à faces inclinées;* enfin, comme cas particuliers de cette dernière, on distingue l'*Hémimorphisme*.

Hémiédrie plagièdre. — Ce premier mode de réduction provient de la suppression du centre, qui entraîne la disparition des plans de symétrie, la symétrie axiale tout entière étant conservée. Dans ce cas, la forme oblique perd nécessairement la moitié de ses faces, de sorte qu'à chacune de celles qui subsistent ne correspond plus aucune face parallèle. Il ne reste plus que la demi-forme *directe*, correspondant à la symétrie axiale, ou bien la demi-forme *inverse*. Cette sorte d'hémiédrie est dite *plagièdre*. D'ailleurs la demi-forme directe et la demi-forme inverse ne sont pas superposables, c'est-à-dire ne peuvent être amenées à coïncider. En effet, cette coïncidence ne pourrait être obtenue que par une rotation autour d'un certain axe, et celles-ci ont été toutes employées. Dans tous les systèmes, cette sorte d'hémiédrie n'affecte que la forme *oblique*, celle qui possède le nombre de faces maxima. La plus importante de toutes est celle du système rhomboédrique, qui fournit les facettes rhombes et les facettes plagièdres du Quartz.

Tel est le premier mode de réduction des faces. Mais il en existe d'autres ayant pour origine la réduction à moitié des rotations axiales. Des axes binaires peu-

vent disparaître, et des axes d'ordre supérieur peuvent voir leur numéro d'ordre abaissé de moitié. Si un axe binaire disparaît, tous ceux de même espèce disparaissent, et s'ils sont dans un plan normal à un axe d'ordre supérieur, cette suppression amène nécessairement l'abaissement de son numéro d'ordre à moitié. S'il reste des axes binaires, ils sont d'espèce différente de celle des déficients.

Ainsi le système quadratique possède un axe principal quaternaire. Il admet quatre axes binaires de deux espèces; si l'on vient à supprimer ceux d'une espèce, il n'en reste plus que deux autres, l'axe principal devient alors binaire, il ne pourrait rester quaternaire qu'en supprimant les deux axes de seconde espèce, ce qui a lieu en vertu d'un théorème énoncé plus haut : si un axe d'ordre n admet un axe binaire dans un plan perpendiculaire, il doit en admettre $(n-1)$ autres.

La réduction de la symétrie axiale étant effectuée, il peut se présenter deux cas : 1° le centre est conservé, on obtient l'*H. à faces parallèles;* 2° le centre est déficient, mais *on conserve* les plans de symétrie perpendiculaires aux axes supprimés. Ces axes *n'existant plus* ne peuvent plus rétablir le centre, et on a l'*H. à faces inclinées.*

Hémiédrie à faces parallèles. — Suppression, comme on l'a vu, de la moitié des rotations axiales, c'est-à-dire réduction de la moitié des faces de la demi-forme directe. Le centre rétablit les faces parallèles à celles-ci.

Ainsi dans le système cubique les axes quaternaires deviennent binaires et les faces sont supprimées de deux en deux autour des axes quaternaires.

Ici les formes réduites sont superposables, car on peut amener la coïncidence de la forme directe avec la forme inverse par une rotation autour de l'un des axes déficients. La combinaison des deux formes directe et inverse reproduit l'holoédrie.

Hémiédrie à faces inclinées. — Suppression encore de la moitié des faces de la forme axiale. Ici, il n'y a plus de centre, mais les faces se doublent par la présence des plans de symétrie de l'holoèdre correspondant aux axes supprimés.

Dans le système cubique cette hémiédrie donne naissance aux formes tétraédriques, dont la principale est le tétraèdre régulier obtenu par suppression de la moitié des faces de l'octaèdre. Comme dans le cas précédent, les formes directes et inverses sont superposables pour la même raison, et la combinaison des deux solides reproduit la forme holoèdre.

Hémimorphisme. — C'est un cas particulier de l'hémiédrie à faces inclinées dans le cas où le système possède un seul axe principal de symétrie. La suppression du centre fait que le cristal est différemment terminé aux deux extrémités de ce même axe. La tourmaline et la calamine sont les exemples les plus connus.

Coexistence des formes hémièdres directe et inverse sur un même cristal. — Deux formes hémièdres directe et inverse peuvent se retrouver *indépendamment* l'une de l'autre sur un même cristal, de façon à reproduire en apparence une symétrie holoédrique; mais en apparence seulement, car les faces appartenant à l'un et à l'autre ne possèdent pas généralement les mêmes caractères physiques.

Constance du genre d'hémiédrie pour une même espèce minérale. — Une espèce minérale donnée ne peut présenter qu'une seule espèce d'hémiédrie. La pyrite de fer, par exemple, ne présente que l'hémiédrie à faces parallèles, tandis que le cuivre gris ou tétraédrite ne présente que des formes tétraédriques dénuées de centre. On explique ce fait en admettant que les particules dernières de chaque espèce minérale présentent cette symétrie réduite. Les cristaux résultant de l'empilement de pareilles molécules suivant l'architecture propre du système devront la déceler dans la non-identité d'éléments géométriquement semblables.

Toutefois, pour quelques substances on a constaté l'existence de formes hémiédriques incompatibles; c'est ainsi que dans la boracite (fig. 17, pl. VIII) on rencontre les faces du dodécaèdre pentagonal (H. à faces parallèles), combinées avec les faces du tétraèdre (H. à faces inclinées). Ce fait paraît contradictoire avec la théorie précédente, et, de fait, il a paru pendant longtemps anormal. Mais Mallard l'a fait rentrer dans la règle en remarquant que l'hémiédrie n'était pas l'unique mode de réduction du nombre des faces, et qu'il en existait un de plus profond encore, auquel il a donné le nom de *tétartoédrie.* Or, en admettant l'existence de cette nouvelle symétrie réduite, les deux formes peuvent se rencontrer en même temps.

Formes holoèdres non atteintes par l'hémiédrie. — Les formes obliques sont toutes atteintes par la réduction des éléments de symétrie. Mais les formes restreintes ou réduites peuvent subsister dans beaucoup de cas. Dans le système cubique, par exemple, le cube et le dodécaèdre rhomboïdal subsistent toujours. Il est facile de se rendre compte qu'il doit bien en être ainsi. En effet, les formes réduites sont données par des positions particulières de la facette déterminante, pour lesquelles plusieurs faces de la forme oblique viennent se confondre. Or, si, parmi ces faces, il y en a de déficientes du fait d'hémiédrie, il suffit qu'il en reste une seule pour que la forme réduite subsiste intacte.

Définition des termes les plus usités en cristallographie. — *Prisme.* — C'est un ensemble de faces parallèles à une direction commune et parallèles entre elles deux à deux. Un prisme ne peut suffire seul à limiter un cristal et constitue une forme ouverte; on le suppose toujours placé verticalement.

Bases. — C'est un couple de faces limitant le prisme de la forme primitive. Dans le système rhomboédrique, les bases sont perpendiculaires à l'axe ternaire. Si la forme est un rhomboèdre, les bases sont deux triangles équilatéraux.

Rhombe ou losange. — C'est un parallélogramme dont les côtés sont égaux. On peut, au point de vue de la symétrie, lui substituer le rectangle circonscrit.

Trapézoïde. — C'est un quadrilatère dont deux côtés adjacents sont égaux entre eux, les deux autres possédant une longueur commune différente. Les trapézoèdres sont des solides dont toutes les faces sont des trapézoïdes.

Pinacoïde. — C'est un système de deux faces parallèles se suffisant à lui-même au point de vue de la symétrie. Il tire son nom de ce fait que quand ces faces sont très développées, le cristal prend l'apparence générale d'une table (πίναξ).

Pyramide. — Au sens cristallographique, une pyramide est l'ensemble de quatre ou de six faces situées

d'un même côté du centre et qui se coupent suivant un point. On ne considère dans ce cas que la demi-forme supérieure, l'inférieure étant rétablie par le centre.

Dôme. — Système de deux faces dont l'intersection est parallèle à l'une des diagonales de la base supérieure d'une forme fondamentale ou primitive.

Octaèdre. — Solide à 8 faces composé de deux doubles pyramides à quatre faces opposées par la base.

Troncatures. — Une troncature est dite *placée* sur angle lorsqu'elle est parallèle à l'une des diagonales de la base. Elle est dite *tangente* sur une arête lorsque, étant parallèle à cette arête, elle détache des longueurs paramétriques égales sur deux arêtes adjacentes.

SYSTÈMES CRISTALLINS

SYSTÈME CUBIQUE

La forme primitive est un cube.

Les éléments de ce solide sont : 1° six faces p; 2° huit angles a; 3° douze arêtes b (fig. 13).

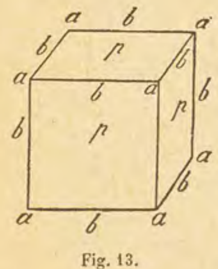


Fig. 13.

Les éléments de symétrie sont : 1° trois axes quaternaires joignant les milieux des faces opposées; 2° quatre axes ternaires joignant les sommets des angles opposés; 3° six axes binaires joignant les milieux des deux arêtes opposées; 4° trois plans de symétrie principaux perpendiculaires aux axes quaternaires et passant par les milieux de quatre arêtes parallèles; 5° six plans de symétrie normaux aux axes binaires et passant par deux arêtes opposées; 6° un centre.

Les formes dérivées par troncatures proviennent des modifications suivantes.

Modification tangente sur les arêtes b. — Si une arête vient à être remplacée par un plan tel qu'il détache sur les deux autres arêtes adjacentes des longueurs égales, il se suffit à lui-même au point de vue

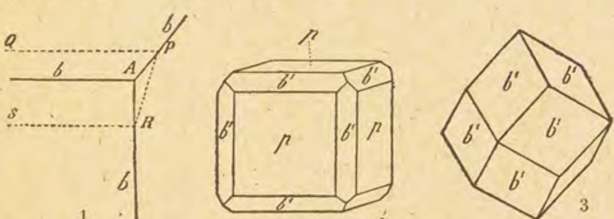


Fig. 14. — Genèse du dodécaèdre rhomboïdal.

de la symétrie (fig. 14_1). Mais chaque arête devant être ainsi modifiée, il en résulte un solide limité par douze plans (fig. 14_2). C'est le *dodécaèdre rhomboïdal,* ainsi nommé à cause de la forme de ses faces, qui sont des rhombes égaux (fig. 14_3).

Modifications par un plan parallèle aux arêtes b. — Un tel plan détachera des longueurs inégales sur deux arêtes adjacentes; il ne pourra exister seul, et la symétrie exige un autre plan symétrique par rapport au plan de symétrie passant par l'arête modifiée et son opposée (fig. 15_1).

Douze arêtes semblables, donc 24 plans (fig. 15_2). Pour nous rendre compte de la forme du solide obtenu, ne considérons ensemble que quatre de ces plans relatifs aux quatre arêtes d'une face du cube et inclinés du même côté. On obtient ainsi une pyramide quadrangulaire régulière s'appuyant sur le contour d'une face du cube; les cinq autres faces, étant identiques, devront être traitées de la même manière.

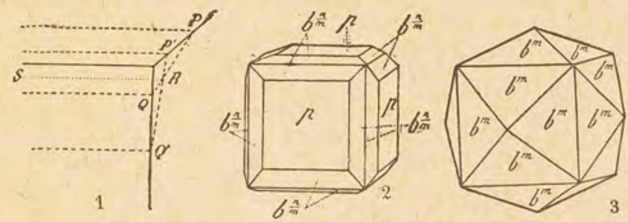


Fig. 15. — Genèse du cube pyramide ou tétrahexaèdre.

Le solide pourra donc être envisagé comme un cube dont toutes les faces ont été recouvertes de pyramides à 4 faces de même hauteur, d'où le nom de *tétrahexaèdre* ou *cube pyramide* donné à cette forme (fig. 15_3).

Modification symétrique sur les angles a. — Si l'on tronque un angle a par un plan tel qu'il détache sur les trois arêtes concourantes des longueurs égales, ce plan se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie (fig. 16_1). Chaque angle devra être affecté de la

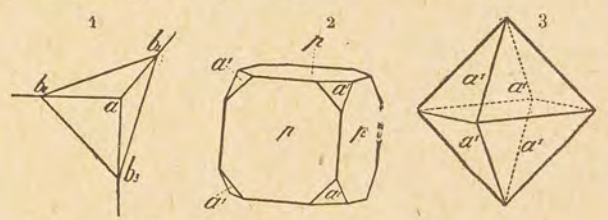


Fig. 16. — Genèse de l'octaèdre régulier.

même manière, donc huit plans dont l'ensemble forme un *octaèdre régulier* (fig. 16_2, $_3$). Il peut être envisagé comme formé de deux pyramides quadrangulaires opposées par la base et ayant leurs sommets au centre des faces du cube.

Modification sur les angles a **par un plan parallèle à l'une des diagonales des faces (parallèle à un axe binaire).** — Un tel plan détachera deux longueurs égales sur deux des arêtes concourantes et une longueur différente sur la troisième (fig. 17_1 et 18_1).

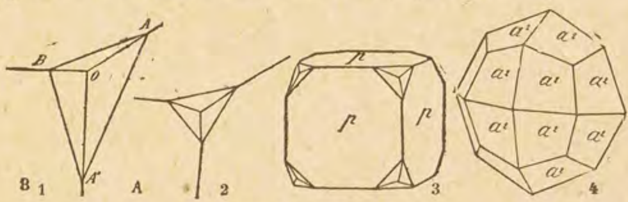


Fig. 17. — Genèse du trapézoèdre.

Il ne pourra exister seul. Les trois arêtes concourantes étant identiques doivent être traitées de la même façon; il faudra deux autres plans détachant chacun la troisième longueur sur les deux autres arêtes.

Suivant que cette troisième longueur est plus petite ou plus grande que les deux autres, on a deux formes de troncature différentes. Est-elle plus petite (fig. 17_1), la modification prend la forme représentée (fig. 17_2). Répétée sur les huit angles du cube (fig. 17_3), elle conduit à un solide à vingt-quatre faces, l'*icositétraèdre* ou *trapézoèdre* (fig. 17_4). Ce nom lui vient de ce que ses faces ont la forme de trapézoïdes, quadrilatères dont deux côtés consécutifs sont égaux.

La longueur inégale est-elle supérieure aux deux autres (fig. 18_1), la troncature prend la forme représentée (fig. 18_2). Répétée sur les huit angles du cube, elle conduit au *trioctaèdre* ou *octaèdre pyramidé* (fig. 18_3).

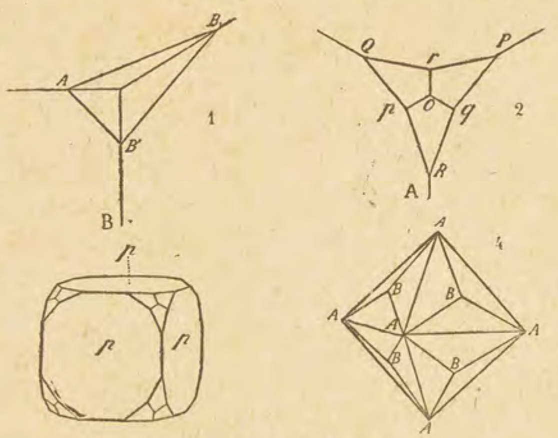


Fig. 18. — Genèse du trioctaèdre.

Modification sur les angles *a* par un plan quelconque. — Un tel plan interceptant des longueurs différentes sur trois arêtes concourantes ne peut exister seul. D'abord par chacune des trois arêtes passe un plan de symétrie; il faut donc un second plan également incliné de l'autre côté sur lui (fig. 19_1). Donc deux plans pour cette arête. Les deux autres arêtes doivent être traitées de la même manière, donc en tout six plans également inclinés deux à deux sur les trois plans de symétrie (fig. 19_2).

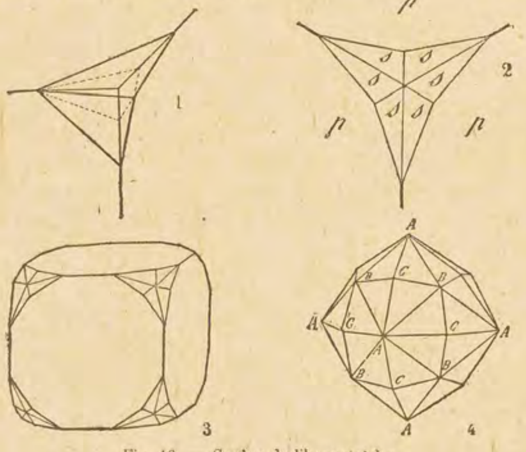


Fig. 19. — Genèse de l'hexoctaèdre.

Mais les huit angles du cube doivent être traités de la même manière (fig. 19_3), donc en tout quarante-huit plans qui valent au solide le nom d'*hexoctaèdre,* ou encore de *solide à 48 faces.* C'est la forme la plus générale du système cubique (fig. 19_4).

HÉMIÉDRIES

Au point de vue expérimental, il y a trois sortes d'hémiédries pour le système cubique.

1° **H. plagièdre.** — Elle n'atteint que l'*hexoctaèdre,* sur deux faces adjacentes duquel l'une est supprimée. Le solide obtenu n'a plus de centre, il possède 24 faces qui sont des pentagones, d'où son nom d'*hémihexoctaèdre pentagonal.* On ne l'a pas encore observé dans la nature.

2° **Hémiédrie à faces parallèles.** — Elle n'atteint que le cube pyramidé et l'hexoctaèdre. Le cube pyramidé perd deux faces opposées sur chaque pyramide, de façon à ce qu'une seule face sur deux subsiste de chaque côté d'une même arête du cube (fig. 20_1). Le solide ainsi obtenu est le *dodécaèdre pentagonal,* terminé par douze pentagones égaux (fig. 20_2).

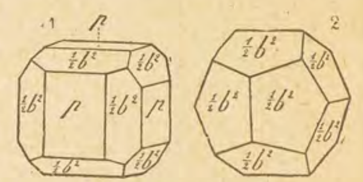


Fig. 20. — Dodécaèdre pentagonal.

On a vu précédemment que l'hexoctaèdre résultait d'un pointement sextuple remplaçant chaque angle.

En supprimant alternativement une face sur deux à chaque pointement, et cela de telle sorte que les faces conservées restent symétriques par rapport au plan de symétrie principal qui coupe cette arête en son milieu, on obtient un solide à 24 faces que l'on appelle *diploèdre* (fig. 21). Sa forme est analogue à celle du trapézoèdre, seulement les faces ne sont plus des trapézoïdes. Cette similitude de forme résulte de ce fait que, comme pour les trapézoèdres, chaque angle trièdre de la forme primitive est remplacé par trois plans.

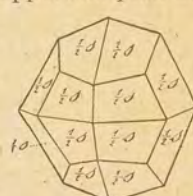


Fig. 21. — Diploèdre.

Le dodécaèdre pentagonal et de nombreux diploèdres se rencontrent fréquemment sur les cristaux de pyrite et de cobaltine qui présentent cette hémiédrie.

3° **H. à faces inclinées.** — Sur chaque face du cube, deux angles opposés sont seuls modifiés, et sur la face parallèle les deux angles modifiés sont ceux qui ne sont pas diamétralement opposés aux précédents.

Suivant la nature de la modification faite sur l'angle, on peut avoir quatre solides différents :

1. La modification par un seul plan conduisant à l'octaèdre donne un solide à quatre faces, le *tétraèdre régulier* (fig. 22), que l'on peut regarder comme dérivant de l'octaèdre par suppression alternative d'une face sur deux.

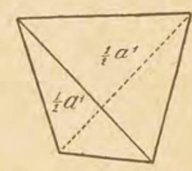


Fig. 22. — Tétraèdre.

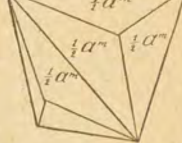


Fig. 23. — Tritétraèdre.

2° La modification par trois plans conduisant au trapézoèdre sur la forme holoèdre donne un *tétraèdre pyramidé* ou tritétraèdre (fig. 23). Il est à remarquer que la forme holoèdre ayant pour faces des trapézoïdes donne un hémièdre à faces triangulaires.

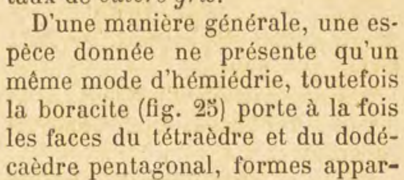
3° La modification par trois plans conduisant au trioctaèdre donne un *dodécaèdre trapézoïdal* ou *deltoïd-dodécaèdre* (forme en Δ). Ici l'holoèdre ayant pour faces des triangles donne un hémièdre à faces trapézoïdes (fig. 24).



Fig. 24. — Dodécaèdre trapézoïdal.

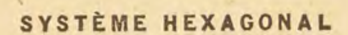
4° La modification par six plans à chaque sommet conduisant à l'hexoctaèdre donne un *hexatétraèdre.* Il a la forme générale d'un tétraèdre

dont chaque face aurait été remplacée par six plans formant pyramide.


Fig. 25.

Cette hémiédrie affecte les cristaux de *cuivre gris*.

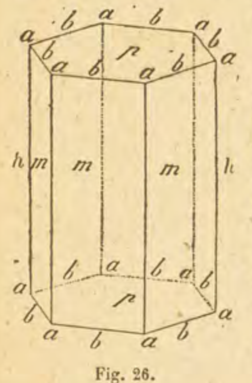
D'une manière générale, une espèce donnée ne présente qu'un même mode d'hémiédrie, toutefois la boracite (fig. 25) porte à la fois les faces du tétraèdre et du dodécaèdre pentagonal, formes appartenant à deux modes différents. Leur coexistence résulte d'une symétrie plus réduite encore que l'hémiédrie.



SYSTÈME HEXAGONAL

La forme fondamentale est un prisme hexagonal régulier ou *protoprisme*.

Les éléments de ce solide sont : 1° deux bases d'hexagone régulier *p*; 2° six pans *m* qui sont des rectangles; 3° douze arêtes basiques horizontales *b*; 4° six arêtes verticales *h*; 5° douze angles solides *a* (fig. 26).


Fig. 26.

Les éléments de symétrie sont : 1° un axe sénaire joignant les milieux des deux bases; 2° trois axes binaires de seconde espèce joignant les milieux de deux pans opposés; 3° trois axes binaires de première espèce joignant le milieu des deux arêtes verticales opposées; 4° un plan de symétrie passant par le centre et perpendiculaire à l'axe sénaire; 5° trois plans de symétrie de seconde espèce passant chacun par deux arêtes verticales opposées et normaux aux axes de seconde espèce; 6° trois plans de symétrie de première espèce passant par l'axe principal et le milieu de deux faces opposées, normaux aux axes de première espèce; 7° un centre.

Les diverses formes dérivées sont obtenues par les modifications suivantes.

Modifications placées sur les angles *a*. — Un plan détachant sur un angle *a* deux longueurs égales sur les arêtes *b* adjacentes, et une longueur quelconque sur l'arête *h* correspondante se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Chaque angle *a* étant modifié de la même façon (fig. 27), on obtient ainsi une double pyramide régulière à six faces, solide coupé par le plan de symétrie principal suivant un hexagone régulier. Toutes ses faces sont des triangles isocèles, et on la nomme *deutéroisocéloèdre*.


Fig. 27.

Modification oblique sur les angles *a*. — En tronquant un angle *a* par un plan détachant des segments inégaux sur deux arêtes *b* adjacentes, il est nécessaire de placer un second plan semblable de l'autre côté du plan de symétrie de première espèce relatif à l'arête *h* modifiée. L'angle est alors remplacé par une troncature en biseau. Les six angles *a* supérieurs donneront donc naissance à douze plans faisant alternativement entre eux des dièdres égaux de deux en deux (fig. 28_1). D'où deux sortes de dièdres. La partie inférieure du prisme engendrera de même une pyramide à 12 faces symétriques de la première par rapport au plan de symétrie principal. C'est la forme la plus générale du système. On lui donne le nom de *didodécaèdre* (fig. 28_2), puisqu'elle possède 24 faces.

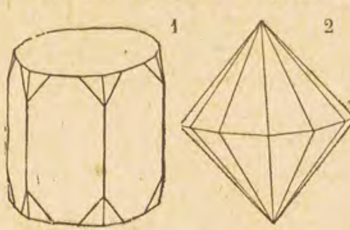


Fig. 28.

Modifications parallèles aux arêtes basiques *b*. — Si l'on vient à remplacer une arête basique par un plan qui lui soit parallèle, ce plan se suffira à lui-même au point de vue de la symétrie, quelle que soit la longueur commune détachée sur les deux arêtes *h* consécutives (fig. 29_1). Les six arêtes de la base supérieure fourniront ainsi six plans également inclinés les uns sur les autres et formant une pyramide hexagonale régulière (fig. 29_2). La seconde base donnera naissance à une pyramide semblable symétrique par rapport au plan principal de symétrie. Le solide à douze faces ainsi obtenu est limité de toutes parts par douze triangles isocèles; on lui donne le nom de *protoisocéloèdre* (fig. 29_3) pour le distinguer du deutéroisocéloèdre obtenu précédemment par troncature sur les angles *a* et qui est orienté à 30° par rapport à lui.

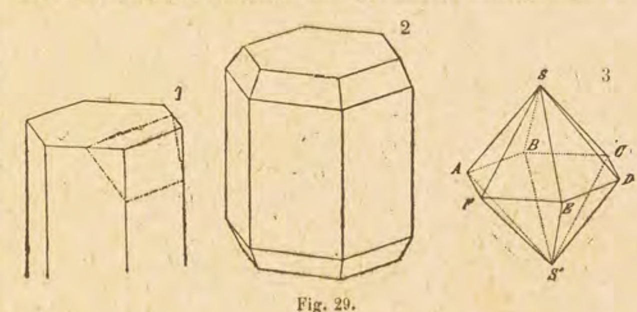


Fig. 29.

Modifications parallèles aux arêtes verticales *h*. — Deux cas à considérer :

1° Le plan modifiant détache des segments égaux sur deux arêtes *b* concourantes au sommet *a*. Ce plan se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Les six arêtes verticales doivent être modifiées de même. Il en résulte un prisme hexagonal régulier non terminé placé à 30° du prisme fondamental dit *protoprisme*, d'où le nom de *deutéroprisme*.

2° Le plan modifiant détache deux segments inégaux sur deux arêtes *b* concourantes. La symétrie exige l'existence d'un second plan symétrique par rapport au plan de symétrie de seconde espèce passant par l'arête, qui se trouve ainsi remplacée par un biseau. Les six arêtes ainsi modifiées donnent naissance à un prisme à douze faces dont les dièdres sont de deux sortes et de deux en deux égaux. Ce prisme porte le nom de *prisme dodécagonal* (fig. 30).


Fig. 30.

Hauteur du prisme hexagonal fondamental. — Elle est indéterminée sur la forme primitive. Mais on convient de la prendre égale à celle d'un protoisocéloèdre arbitrairement choisi parmi ceux que présentent les divers échantillons du minéral.

HÉMIÉDRIES

Certains cristallographes considèrent le système rhomboédrique comme dérivant par hémiédrie du système hexagonal. Mais le rhomboèdre constituant un parallélipipède particulier, il n'y a pas lieu, à notre avis, de lui supprimer l'individualité qui lui est propre et que l'on accorde sans hésitation aux autres formes primitives parallélipipédiques.

Il reste dans ce cas à considérer l'hémiédrie *pyramidale*, qui seule est réalisée dans la nature. Cette hémiédrie entraîne la disparition alternative d'une face sur deux de la pyramide dihexagonale du didodécaèdre. Le plan de symétrie perpendiculaire à l'axe principal étant conservé, la forme hémièdre se réduit à une double pyramide hexagonale non orientée par rapport au prisme fondamental. Les prismes dodécagonaux se réduisent alors à des prismes hexagonaux non orientés.

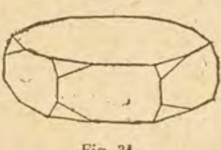


Fig. 31.

La figure 31 représente l'hémiédrie pyramidale de l'apatite.

SYSTÈME RHOMBOÉDRIQUE

La forme primitive du système est un *rhomboèdre*, solide limité par six rhombes égaux. On peut encore l'envisager comme un cube qui aurait été *comprimé* ou *étiré* dans le sens d'une de ses diagonales, qui de ce fait devient dissemblable aux trois autres et constitue pour le nouveau solide un axe *principal* (fig. $32_1, _2$).

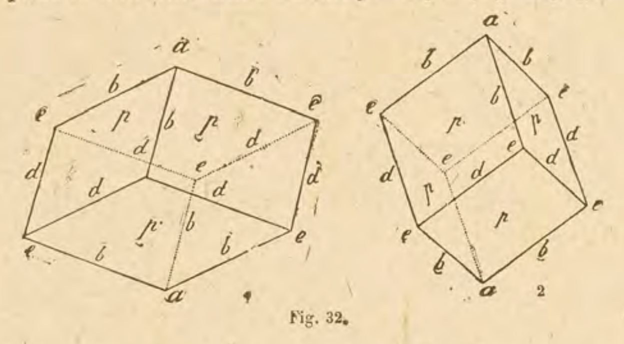


Fig. 32.

Les éléments du rhomboèdre sont : 1° six faces p; 2° deux angles trièdres équilatères a; 3° six angles e; 4° six arêtes b, dites *culminantes*, aboutissant aux angles a; 5° six arêtes d, dites en *zigzag*.

Les éléments de symétrie sont : 1° un axe principal ternaire joignant les sommets des angles a; 2° trois axes binaires situés dans un même plan et joignant les milieux de deux arêtes en zigzag opposées (fig. 33); 3° trois plans de symétrie normaux aux axes binaires passant par deux arêtes culminantes opposées, l'une inférieure, l'autre supérieure, et contenant l'axe principal ainsi que les diagonales de deux faces opposées; 4° un centre.

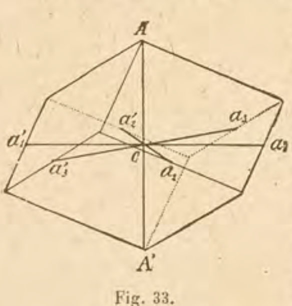


Fig. 33.

On remarquera l'absence de plan de symétrie normal à l'axe ternaire, qui est d'ordre *impair*.

Il convient d'énoncer ici quelques propriétés géométriques remarquables du rhomboèdre.

1° Les arêtes culminantes étant également inclinées sur l'axe ternaire, et les arêtes latérales ayant même longueur et même inclinaison comme côtés de losanges égaux, leurs projections sur l'axe divisent celui-ci en trois parties égales.

2° L'axe principal est perpendiculaire sur les plans passant par les extrémités de trois arêtes culminantes concourantes.

3° Les milieux des arêtes latérales forment les sommets d'un hexagone plan régulier, ayant son centre au milieu de l'axe principal.

4° Les projections orthogonales des côtés de l'hexagone en zigzag forment un hexagone régulier circonscrit au précédent.

Les formes dérivées du rhomboèdre primitif sont nombreuses; on y trouve :

1° Des rhomboèdres de deux catégories différentes, *directs* si leurs faces correspondent à celles du rhomboèdre fondamental, *inverses* si elles correspondent à ses arêtes.

2° Des *scalénoèdres*, solides à douze faces en forme de triangles scalènes. On peut les envisager comme provenant de rhomboèdres dont on aurait cassé les faces suivant la trace du plan de symétrie, chaque fraction étant inclinée sur lui du même angle. Ce mode de génération montre qu'il possède aussi six arêtes en zigzag qui raccordent deux pyramides à six faces. Ces pyramides présentent alternativement des arêtes, et par suite des dièdres culminants de deux sortes (fig. 34). En outre, deux arêtes culminantes aboutissant au même sommet de l'hexagone en zigzag sont de nature différente. Ces solides sont *directs* si leurs dièdres culminants *obtus* correspondent aux faces du rhomboèdre primitif, *inverses* s'ils correspondent à ses arêtes.

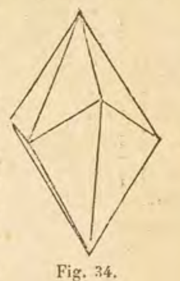


Fig. 34.

3° Des *isocéloèdres*. Ces solides sont limités par douze triangles isocèles. On peut les envisager comme la limite vers laquelle tendent tous les scalénoèdres directs et les scalénoèdres inverses provenant de la cassure des faces d'un même rhomboèdre, ou encore comme le résultat de la déformation d'un scalénoèdre effectuée de telle sorte que les dièdres culminants alternatifs soient devenus égaux (fig. 35). L'hexagone en zigzag s'est transformé en hexagone plan. Ils ont donc acquis un plan de symétrie principal. En outre, le milieu des côtés de cet hexagone coïncide avec l'extrémité des axes binaires.

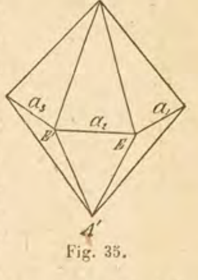


Fig. 35.

4° Des *prismes dodécagonaux*. On peut les considérer comme la limite d'un scalénoèdre dont les dièdres resteraient invariables, tandis que sa hauteur croîtrait indéfiniment. Le solide déformé *n'ayant pas de plan de symétrie normal à l'axe vertical*, les diverses faces ne se confondront donc point à la limite. De tels prismes ont une section dodécagonale, et leurs dièdres verticaux sont alternativement égaux de deux en deux.

5° Des *prismes hexagonaux*. — Il y en a deux : 1. Le *direct*, dont les faces sont normales aux plans de symé-

trie de la forme primitive. On peut l'envisager comme la limite d'un rhomboèdre dont la hauteur s'est accrue indéfiniment. Les six faces du rhomboèdre ont donné le prisme en devenant verticales.

2. Le prisme *inverse*. Imaginons un isocéloèdre quelconque (fig. 35) et faisons croître sa hauteur indéfiniment; il deviendra de plus en plus aigu, et à la limite une face supérieure quelconque viendra se *confondre* avec la face inférieure correspondante quand elles seront devenues parallèles à l'axe vertical. La forme sera donc un prisme à base d'hexagone régulier. Il sera orienté à 30° du prisme hexagonal *direct*, et ses différentes faces seront normales aux axes binaires.

6° Un couple de faces parallèles normales à l'axe ternaire ou *bases*.

Nous allons examiner maintenant comment ces différentes formes dérivent du rhomboèdre primitif par des troncatures rationnelles.

Modifications symétriques sur les angles *a*. — Tronquons l'angle *a* par un plan tel qu'il détache des longueurs égales sur les trois arêtes culminantes. Il se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. L'angle *a* inférieur devant être traité de la même manière, on obtient un couple de plans que l'on appelle *bases*, et on appelle *basées* les formes qui sont associées à celle-ci. On dira, par exemple, un *rhomboèdre basé*.

Modifications placées sur les angles *a*. — Rhomboèdres. — Elles détachent deux longueurs égales et une troisième différente sur trois arêtes culminantes *b*; un tel plan se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Les six arêtes devant être traitées de la même manière, il en résulte un double système de trois plans également inclinés sur l'axe ternaire par raison de symétrie. Deux cas à considérer :

1° La troisième longueur est inférieure aux deux autres, il en résulte un *rhomboèdre direct*.

2° Elle est supérieure aux deux autres : on a dans ce cas un *rhomboèdre inverse*. Il suffit de construire la figure pour s'en assurer.

Modifications par un plan quelconque sur les angles *a*. — Ce plan détache trois longueurs différentes sur les trois arêtes culminantes. Il est donc nécessairement incliné sur le plan de symétrie passant par l'arête sur laquelle est détaché le plus grand segment. Il entraîne donc l'existence d'un second plan détachant le même segment sur cette arête et également incliné sur le plan de symétrie. Donc, pour une arête, deux plans (fig. 36_1). Les trois arêtes doivent être ainsi modifiées,

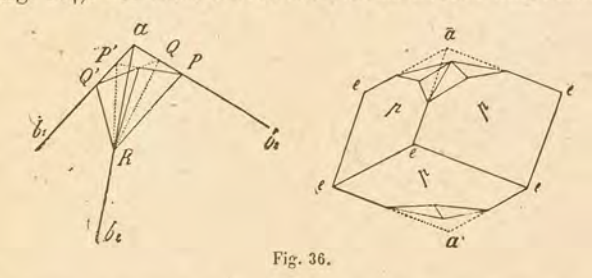


Fig. 36.

donc en tout six plans (fig. 36_2) formant une pyramide hexagonale dont les dièdres, de deux sortes, sont égaux deux à deux alternativement. La partie inférieure donnera elle-même naissance à une pyramide semblable, et, comme il n'existe pas de plan de symétrie normal à l'axe ternaire, elles se raccorderont suivant un hexagone gauche et formeront un scalénoèdre, qui pourra, suivant les cas, être ou direct ou inverse, mais toujours plus surbaissé que le rhomboèdre fondamental. Dans certains cas il pourra devenir un isocéloèdre.

Modifications placées sur les angles *e*. — Rhomboèdres. Prisme hexagonal direct. — Elles détachent deux longueurs égales sur deux arêtes *d* et une longueur différente sur une arête culminante. Trois cas à considérer (fig. 37) :

1° La longueur détachée sur l'arête culminante (EA) est supérieure à la moitié de l'une quelconque des deux autres; on obtient un *rhomboèdre inverse*.

2° Elle est égale à la moitié (EH, même fig.). La face ainsi obtenue est parallèle à l'axe vertical, et, comme il y a six angles *e*, on obtient le *prisme hexagonal direct*.

3° Elle est inférieure (RE, même fig.) : on obtient un *rhomboèdre direct*.

Fig. 37.

Modifications par un plan quelconque sur les angles *e*. — Un tel plan détache trois longueurs quelconques sur deux arêtes *d* et une arête culminante. Il ne peut se suffire à lui-même au point de vue de la symétrie, car il est nécessairement oblique sur le plan

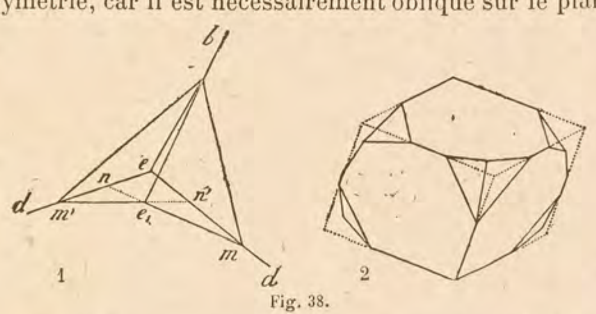


Fig. 38.

de symétrie passant par l'arête culminante. Il faut un second plan également incliné situé de l'autre côté. Donc, pour chaque arête culminante, deux plans (fig. 38_1). Les six doivent être traités de la même manière; donc en tout douze plans (fig. 38_2). La forme est un *scalénoèdre* qui peut être soit *direct*, soit *inverse*.

Modifications par un plan parallèle aux arêtes culminantes. — Deux cas à considérer : 1° Il détache des longueurs égales sur deux arêtes concourantes aux sommets *a* et *e*, et par suite il est perpendiculaire à un plan de symétrie. Il se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Six arêtes culminantes, donc six plans. La forme est un rhomboèdre nécessairement inverse. Haüy lui donna improprement le nom d'*inverse;* il est plus obtus que le rhomboèdre primitif.

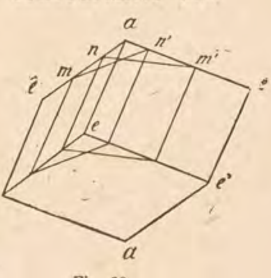


Fig. 39.

2° Le plan modifiant détache des longueurs inégales sur deux arêtes concourantes aux sommets *a* et *e* (fig. 39). Alors l'existence du plan de symétrie passant par l'arête exige un second plan placé de l'autre côté et également incliné sur lui. Donc deux plans pour une seule arête. Il y a six arêtes culminantes, donc douze plans formant par leur réunion un scalénoèdre.

Modifications par un plan parallèle aux arêtes en zigzag. — Deux cas à considérer : 1° Il détache deux longueurs égales sur les arêtes *b* et *d* concourantes en un sommet *e*; il est alors parallèle à l'axe vertical

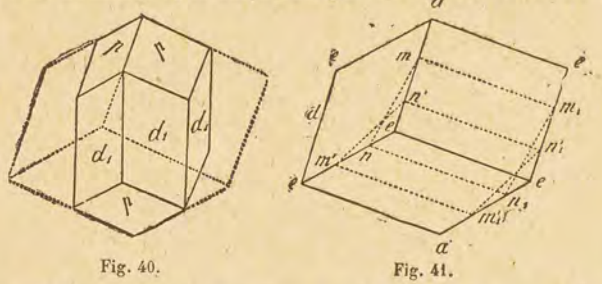


Fig. 40. Fig. 41.

et se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Chaque arête *d* étant modifiée de la même manière, on obtient le prisme *hexagonal inverse* décalé de 30° sur le prisme hexagonal *direct*, et dont les côtés sont perpendiculaires à l'extrémité des axes binaires (fig. 40).

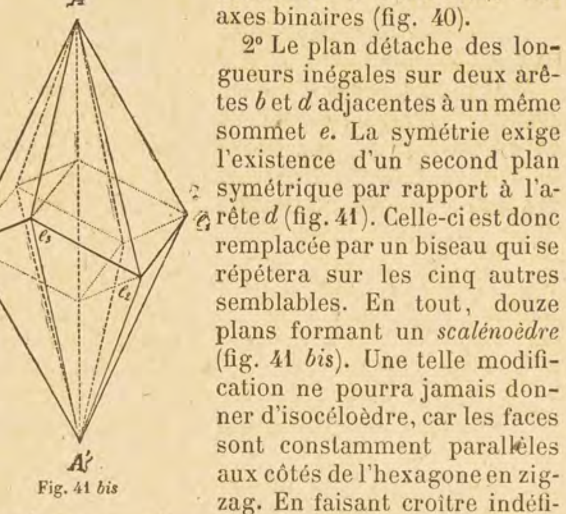


Fig. 41 *bis*

2° Le plan détache des longueurs inégales sur deux arêtes *b* et *d* adjacentes à un même sommet *e*. La symétrie exige l'existence d'un second plan symétrique par rapport à l'arête *d* (fig. 41). Celle-ci est donc remplacée par un biseau qui se répétera sur les cinq autres semblables. En tout, douze plans formant un *scalénoèdre* (fig. 41 *bis*). Une telle modification ne pourra jamais donner d'isocéloèdre, car les faces sont constamment parallèles aux côtés de l'hexagone en zigzag. En faisant croître indéfiniment la hauteur d'un de ces solides, on retombe sur le prisme hexagonal inverse, que l'on peut envisager comme un isocéloèdre de hauteur infinie dont deux faces adjacentes à une arête *d*, l'une supérieure, l'autre inférieure, sont venues se confondre à la limite.

Formes birhomboédriques. — Ce ne sont pas des formes simples, c'est-à-dire dérivant d'une seule loi de troncature, mais bien une combinaison de deux formes différentes indépendantes l'une de l'autre dont la réunion donne au cristal l'apparence d'une pseudo-symétrie hexagonale. En effet, à chaque rhomboèdre direct correspond un rhomboèbre inverse de même dièdre culminant et de même hauteur. En se pénétrant, ils donnent un solide commun qui est un pseudo-isocéloèdre. S'ils sont en outre associés à un prisme hexagonal, ils présentent alors l'aspect extérieur d'un cristal hexagonal. (Voir pl. XIII, fig. 11, *Hyacinthe de Compostelle.*) Les faces, identiques au point de vue géométrique, ne le sont pas au point de vue physique et sont souvent inégalement développées. Ainsi dans le quartz on doit admettre que deux faces consécutives de pyramide hexagonale appartiennent à deux rhomboèdres différents inverses l'un de l'autre.

HÉMIÉDRIES

Il y en a trois principales : celles du *Quartz*, de la *Dioptase* et de la *Tourmaline*.

1° **Hémiédrie du quartz,** dans laquelle le centre de symétrie et les plans de symétrie de la forme fondamentale sont supprimés. Il ne reste que l'axe ternaire et les trois axes binaires.

Les divers *rhomboèdres* subsistent, car les trois faces supérieures subsistent à la faveur de l'axe ternaire, et elles sont doublées à la partie inférieure, grâce à l'existence des trois axes binaires. Par suite leur limite, le prisme hexagonal direct, existe également.

Les scalénoèdres perdent alternativement une face sur deux à leur partie supérieure, qui n'en conserve que trois formant un trièdre équilatère. L'existence des axes binaires entraîne celle de trois faces identiques à la partie inférieure. Il en résulte un solide formé de deux pyramides trièdres décalées l'une par rapport à l'autre et se raccordant par un hexagone gauche non régulier.

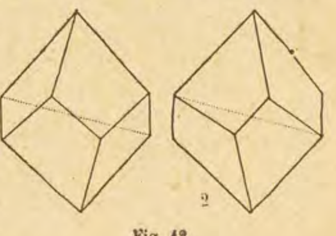


Fig. 42.

Suivant que les faces conservées à la partie supérieure sont situées à droite ou à gauche des plans de symétrie supposés successivement tournés vers l'observateur, on obtient deux solides *non superposables* appeles *trapézoèdres trigonaux* et qui sont des hémiscalènoèdres (fig. $42_{1,2}$) droits ou gauches.

Les faces *plagièdres* du quartz appartiennent à cette catégorie.

Si l'on suppose que la hauteur de ces solides croisse indéfiniment, les faces deviendront verticales sans se confondre deux à deux à la limite, puisqu'il n'y a pas de plan de symétrie normal à l'axe ternaire, et l'on obtiendra un *prisme ditrigonal* (fig. 43). La section droite est un hexagone irrégulier dont les angles sont alternativement égaux deux à deux.



Fig. 43.

Les isocéloèdres perdent trois faces alternantes à leur partie supérieure, qui devient un trièdre équilatère comme dans la forme précédente. Mais à cause de la disposition particulière de leurs faces par rapport aux axes binaires, le trièdre inférieur correspond au trièdre supérieur, et le solide résultant est un *ditrièdre* ou *trigonoèdre* (fig. 44). Les faces *rhombes* du quartz appartiennent à cette catégorie.

Enfin le prisme *hexagonal inverse*, étant la limite des isocéloèdres, se réduit à un *prisme triangulaire équilatéral.*

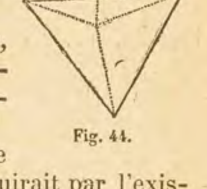


Fig. 44.

Cette dernière forme ne se rencontre pas sur le quartz, mais elle s'y traduirait par l'existence de trois facettes verticales tronquant de deux en deux celles du prisme.

2° **Hémiédrie de la dioptase,** dans laquelle les axes binaires et les plans de symétrie correspondants sont supprimés. Il ne reste que l'axe ternaire et le centre.

Les *rhomboèdres* subsistent, l'axe ternaire donnant un trièdre équilatère. Le centre entraîne l'existence de trois autres faces inférieures.

Le prisme *hexagonal direct* subsiste, car il est la limite des rhomboèdres.

Les *scalénoèdres* et les *isocéloèdres* se transforment en rhomboèdres. En effet, les faces supérieures donnent un trièdre équilatère, et le centre rétablit trois faces à la partie inférieure. Seulement, les plans géométriques de symétrie de tous ces rhomboèdres n'ont aucune relation avec ceux du solide fondamental, sauf ceux qui proviennent des isocéloèdres.

Les *prismes dodécagonaux* limites de scalénoèdres donnent des prismes à base hexagonale régulière (limites de rhomboèdres), non orientés, et le prisme *hexagonal inverse* limite des isocéloèdres est conservé.

Hémiédrie de la tourmaline ou Hémimorphisme. — Elle doit son nom à la suppression de la partie inférieure de toutes les formes du système. Le cristal se trouve réduit à sa partie supérieure et latérale, la partie inférieure est fermée par des formes n'ayant que des rapports fortuits avec les précédents.

Les *rhomboèdres* sont réduits à une *pyramide* triangulaire équilatère indéfinie.

Le prisme *hexagonal direct,* leur limite, perd alternativement une de ses faces sur deux et se réduit à un *prisme triangulaire* équilatéral.

Les *scalénoèdres* donnent des pyramides hexagonales à six faces dont les dièdres sont alternativement égaux de deux en deux. Leurs limites les *prismes dodécagonaux* se réduisent à des prismes à base d'hexagone irrégulier.

Les isocéloèdres se réduisent à des pyramides *hexagonales régulières* indéfinies, et leur limite le *prisme hexagonal inverse* subsiste.

SYSTÈME QUADRATIQUE

La forme primitive est un prisme droit à base carrée, dit *protoprisme*. Les éléments du prisme sont les suivants : deux bases carrées p, quatre pans rectangulaires m, huit arêtes b, quatre arêtes h, huit angles trirectangles a (fig. 45). Il y a lieu de remarquer qu'à chaque angle a aboutissent deux arêtes semblables b et une troisième de nature différente h.

Fig. 45.

Les éléments de symétrie sont : 1° un axe quaternaire joignant les milieux des deux bases ; 2° deux axes binaires de première espèce joignant les milieux de deux pans opposés ; 3° deux axes binaires de seconde espèce joignant les milieux de deux arêtes latérales opposées ; 4° un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe quaternaire passant par le centre ; 5° deux plans de symétrie de première espèce passant par l'axe quaternaire et les deux axes binaires de première espèce ; 6° deux plans de symétrie de seconde espèce passant par l'axe quaternaire et chacun des axes de seconde espèce (fig. 46).

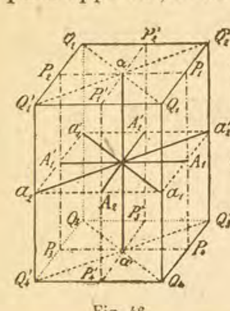


Fig. 46.

Modifications placées sur les angles a. — Si l'un des angles est tronqué par un plan tel qu'il détache sur deux arêtes b adjacentes deux longueurs égales et une longueur quelconque sur l'arête concourante h, il se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Les huit angles a seront modifiés de la même manière (fig. 47), et l'on obtiendra une double pyramide à quatre faces constituant un octaèdre dit *deutérooctaèdre*. Suivant la longueur interceptée sur l'arête h, il y en a une infinité de possibles.

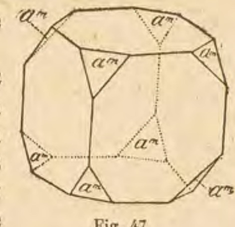


Fig. 47.

Modification sur les angles a **par un plan quelconque.** — Un plan quelconque tronquant l'un des angles a coupe deux arêtes semblables b concourantes à deux longueurs inégales ; la symétrie exige l'existence d'un second plan coupant l'arête h à la même distance du sommet a et détachant sur les arêtes b adjacentes des longueurs inverses des précédentes. Le sommet considéré sera donc remplacé par un double plan. Mais les quatre angles a supérieurs étant modifiés de la même manière (fig. 48) donneront une pyramide octogonale dont les dièdres seront égaux de deux en deux. Il en sera de même pour les angles inférieurs. Donc en tout seize plans formant un *dioctaèdre,* possédant le plan de symétrie correspondant à l'axe quaternaire. C'est la forme la plus générale du système, celle qui présente le nombre maximum de faces.

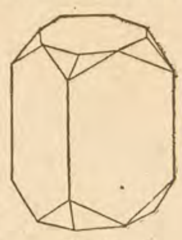


Fig. 48.

Modifications parallèles aux arêtes basiques b. — Un plan remplaçant une arête b à laquelle il est parallèle se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Les huit arêtes basiques ainsi modifiées fourniront huit plans (fig. 49_1) également inclinés en deux groupes de quatre sur chaque base et donneront ainsi naissance à un octaèdre dit *protooctaèdre,* dont les faces correspondent aux faces du prisme fondamental (fig. 49_2). Il y a une infinité d'octaèdres de cette espèce, suivant la valeur du segment détaché par chaque plan sur les arêtes latérales. On *convient* de prendre la hauteur de l'un d'entre eux pour hauteur du prisme fondamental. Les autres seront *aigus* s'ils ont une hauteur plus grande, obtus dans le cas contraire.

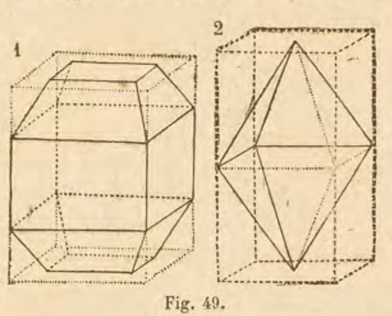


Fig. 49.

Modifications parallèles aux arêtes latérales h. — Deux cas à considérer :

1° Le plan détache des longueurs égales am sur les deux arêtes b adjacentes (fig. 50). Il se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Quatre arêtes h ainsi remplacées par quatre plans verticaux forment un prisme quadrangulaire dont les faces sont situées à 45° de celles du prisme fondamental ; on l'appelle prisme quadratique *inverse* ou *deutéroprisme*. 2° Le plan détache sur deux arêtes b concourantes des longueurs inégales am, an (même figure). La symétrie exige un second plan semblable, symétrique par rapport au plan passant par

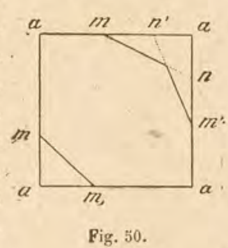


Fig. 50.

l'arête *h* modifiée (plan de symétrie de seconde espèce). En somme, l'arête modifiée est remplacée par un biseau. Celui-ci se répétera sur les quatre arêtes *h*. En tout huit plans formant un *prisme octogonal* vertical dont les dièdres sont égaux de deux en deux.

HÉMIÉDRIES

Au point de vue théorique, le système quadratique comporte six sortes d'hémiédries différentes. Trois seulement ont été observées :

1° **L'H. sphénoïdale,** présentée par la chalcopyrite. Deux angles *a* seulement sont modifiés à la base supérieure, et sur la base inférieure deux autres, ceux qui ne sont pas symétriques des premiers par rapport au centre, qui fait défaut. Le dioctaèdre se transforme ainsi en *disphénoèdre* (fig. 52), et l'octaèdre en *sphénoèdre* (fig. 51).

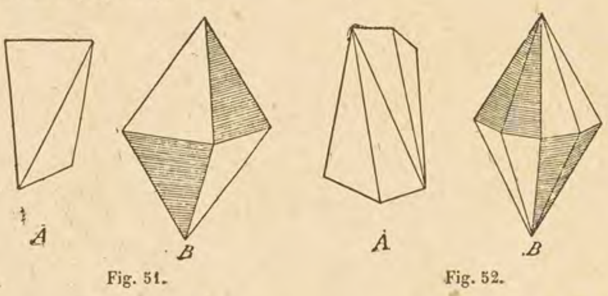


Fig. 51. Fig. 52.

2° **L'H. pyramidale** présentée par la scheelite et la mélinose. Les dioctaèdres deviennent de simples octaèdres par perte d'une face sur deux, octaèdres orientés d'une façon quelconque par rapport au prisme fondamental, et les prismes octogonaux, des prismes quadratiques non orientés par rapport au prisme fondamental.

3° **L'Hémimorphisme,** dans lequel les modifications relatives à l'une des extrémités seulement de l'axe quaternaire subsistent seules.

SYSTÈME ORTHORHOMBIQUE

Les cristallographes français prennent pour forme primitive un prisme droit à base de losange (rhombe). Il reviendrait au même, au point de vue de la symétrie, de prendre le prisme de même hauteur ayant pour bases les rectangles circonscrits aux rhombes.

On convient de placer le prisme orthorhombique de façon telle que, les arêtes du prisme étant verticales, les angles obtus *a* des bases soient situés en avant et en arrière.

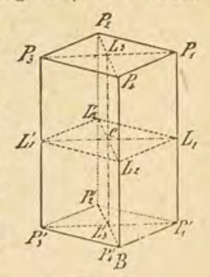
Fig. 53.

Les éléments du prisme sont les suivants : deux bases *p*, quatre pans *m*, huit arêtes *b*, deux arêtes *h*, deux arêtes *g*, quatre angles *a*, quatre angles *e* (fig. 53).

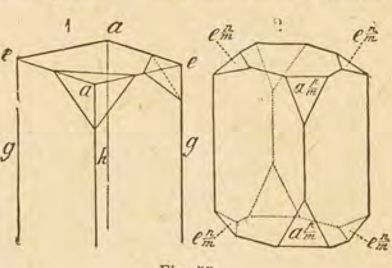
Il y a deux sortes d'angles trièdres : 1° quatre angles *a* à chacun desquels aboutissent deux arêtes basiques *b* et une arête *h*; 2° quatre angles *e* en relation chacun avec une arête verticale *g* et deux arêtes *b*.

Il y a lieu de considérer que les losanges de base ont deux diagonales rectangulaires, qui joignent, l'une *aa*, deux sommets d'angles obtus, c'est la *brachydiagonale* (βραχύς, court), l'autre *ee* deux sommets d'angles aigus, c'est la *macrodiagonale* (μακρός, long).

Les éléments de symétrie sont (fig. 54) : 1° trois axes binaires rectangulaires entre eux, dont deux joignent les milieux des arêtes *h* et des arêtes *g*, le troisième joignant les milieux des deux bases; 2° trois plans de symétrie dont deux passent par les arêtes verticales opposées *gg*, *hh*, le troisième passant par le centre et perpendiculaire à l'axe vertical; 3° un centre.

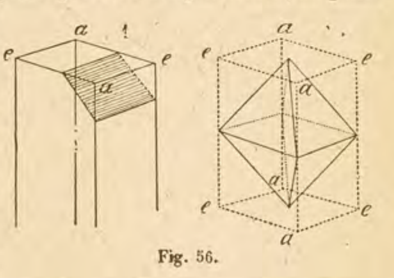

Fig. 54.

Modifications placées sur les angles *a* **et** *e*. — Si l'un des angles *a* est tronqué par un plan tel qu'il détache sur les arêtes *b* adjacentes deux longueurs égales, il est parallèle à la macrodiagonale (fig. 55_1). Les quatre angles semblables seront modifiés de la même manière. En ne considérant que les deux plans relatifs aux angles supérieurs, on obtient une espèce de toit ou dôme, d'où le nom de *macrodôme* donné à cette forme, parce que l'intersection est parallèle à la macrodiagonale (fig. 55_2).

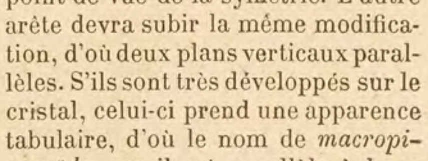

Fig. 55.

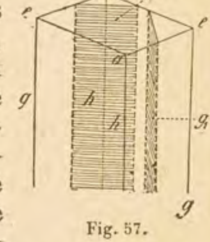
Tout ce que nous venons de dire s'appliquerait aux angles *e*, mais, les plans modifiants étant parallèles à la brachydiagonale, on aurait un *brachydôme* (même fig.).

Modifications tangentes sur les arêtes. — 1° *Sur les arêtes basiques* b. — Si l'on vient à remplacer une de ces arêtes par un plan qui lui soit parallèle, ce plan se suffira à lui-même au point de vue de la symétrie (fig. 56_1). Il y a huit arêtes *b*, quatre en haut, quatre en bas, donc en tout huit plans constituant un *octaèdre* (fig. 56_2). Parmi tous les octaèdres possibles, en nombre infini, on en choisit un auquel on donne le nom d'*octaèdre fondamental.* C'est la hauteur de ce solide que l'on prend pour *définir* la hauteur du prisme fondamental.


Fig. 56.

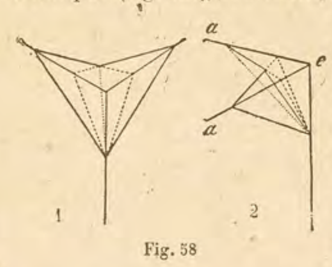
2° *Sur les arêtes* h *ou* g. — Si l'on remplace une arête *h* par un plan qui lui soit parallèle et qui détache des longueurs égales sur les arêtes adjacentes (fig. 57), un tel plan se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. L'autre arête devra subir la même modification, d'où deux plans verticaux parallèles. S'ils sont très développés sur le cristal, celui-ci prend une apparence tabulaire, d'où le nom de *macropinacoïde,* car il est parallèle à la macrodiagonale des bases.




Fig. 57.

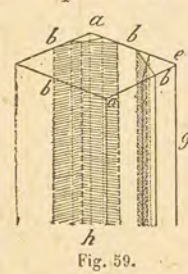
Si la modification était parallèle à l'arête *g*, on aurait de même un *brachypinacoïde* (même figure).

Modifications quelconques. — 1° *Sur les angles* a *ou* e. — Considérons un angle *a*, l'antérieur supérieur par exemple (fig. 58_1), et tronquons-le par un plan quelconque, coupant les trois arêtes du trièdre. Deux arêtes *b* semblables étant différemment modifiées, un second plan semblable sera nécessaire, et ce dernier sera symétrique du premier par rapport au plan de symétrie passant par les arêtes *h*. Il y a quatre angles *a*, donc huit plans. En nous bornant à ceux qui sont relatifs à la partie supérieure du cristal, on obtient une pyramide à quatre faces qui prendra le nom de *macropyramide*.


Fig. 58

Tout ce que nous venons de dire relativement aux angles *a* pourrait s'appliquer aux angles *e*, et on obtiendrait ainsi une *brachypyramide* (fig. 58_2).

2° *Sur les arêtes* h *ou* g. — Remplaçons une arête *h* aboutissant à un angle *a* supérieur par un plan qui lui soit parallèle. Il détachera sur les deux arêtes *b* adjacentes deux longueurs quelconques (fig. 59). Mais ces deux arêtes devant être semblablement modifiées, un second plan sera nécessaire, et ce plan aura nécessairement la même inclinaison sur le plan de symétrie passant par les arêtes *h* opposées. La seconde arête *h* devra, elle aussi, être modifiée par un double plan. En tout, quatre plans formant un prisme droit à base losangique. Ce prisme est plus aplati que le prisme primitif; on l'appelle *macroprisme*.

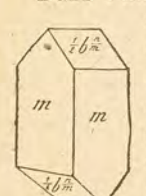

Fig. 59.

S'il s'agissait des arêtes *g*, des modifications analogues conduiraient à un *brachyprisme* plus renflé que le prisme primitif (même fig.).

HÉMIÉDRIES

Il y en a deux.

Dans l'une, les axes de symétrie sont conservés, mais le centre et les plans de symétrie disparaissent. Il disparaît une sur deux des faces des macro et des brachypyramides, et il en résulte un *sphénoïde*, sorte de tétraèdre irrégulier que l'on rencontre sur les cristaux de sulfate de magnésie (fig. 60).


Fig. 60.

Dans l'autre genre d'hémiédrie, il y a hémimorphisme, c'est-à-dire que les deux extrémités de l'axe vertical portent des modifications sans rapport entre elles. C'est le cas des cristaux de topaze et de calamine.

SYSTÈME CLINORHOMBIQUE

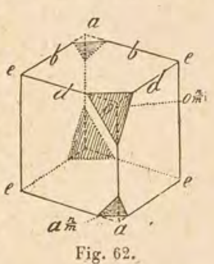
Les cristallographes français prennent pour forme primitive un prisme vertical terminé par deux losanges appelés *bases*. On convient d'incliner celles-ci d'arrière en avant (fig. 61).

Les éléments de la forme sont : 1° deux angles *a*, l'un postérieur supérieur, l'autre antérieur inférieur; à chacun d'eux aboutissent deux arêtes inclinées *b* identiques entre elles, et une troisième verticale *h*; 2° deux angles *o*, l'un antérieur supérieur, l'autre postérieur inférieur; à chacun d'eux aboutissent deux arêtes *d* identiques entre elles et égales en longueur aux arêtes *b*, et une arête verticale *h*; 3° quatre angles latéraux *e* adjacents chacun à une arête verticale *g* et à deux arêtes inclinées *b* et *d*; 4° deux bases *p*; 5° quatre pans *m*. Il y a lieu de remarquer que chacun des losanges de base possède deux diagonales rectangulaires, l'une inclinée ou *clinodiagonale ao*, l'autre horizontale ou *orthodiagonale ee*.

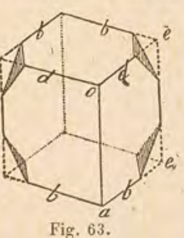

Fig. 61.

Les éléments de symétrie (même figure) sont : 1° un axe binaire joignant le milieu des arêtes *g* et parallèle à l'orthodiagonale; 2° un plan de symétrie passant par les clinodiagonales des deux bases; 3° un centre.

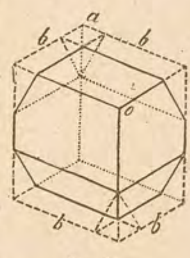
Modifications placées sur les angles. — 1° *Sur les angles* a *et* o. — Si l'un des angles *a* ou *o* est tronqué par un plan tel qu'il détache sur les arêtes *b* ou *d* adjacentes deux longueurs égales à partir du sommet de l'angle, la loi de symétrie est satisfaite (fig. 62). Il en résulte qu'à la partie supérieure du cristal il n'y a qu'un seul plan, et ce plan est parallèle à l'orthodiagonale. Si l'angle *o* était traité de la même manière, on aurait une espèce de toit de maison ou dôme dont le faîte serait parallèle à l'orthodiagonale. Mais les angles *a* et *o* n'étant *pas de même nature* ne sont pas nécessairement modifiés ensemble, et il n'y a par suite qu'un seul plan dit *hémiorthodôme postérieur* s'il est relatif à l'angle *a, antérieur* s'il est relatif à l'angle *o*.


Fig. 62.

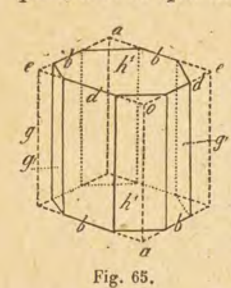
2° *Sur les angles e.* — Il y a quatre angles *e*, deux supérieurs, deux inférieurs (fig. 63). Ne considérons que les premiers. Les arêtes *b* et *d* qui aboutissent à chacun d'eux étant *égales en longueur*, un tel plan détachera sur ces arêtes des longueurs égales et sera parallèle à la *clinodiagonale;* par suite, l'intersection des deux plans relatifs aux angles *e* supérieurs l'est aussi, ils forment donc un *dôme* que l'on appellera cette fois *clinodôme*.


Fig. 63.

Modifications tangentes sur les arêtes. — 1° *Sur les arêtes basiques* b *ou* d. — Si l'on remplace une arête *b* par un plan qui lui soit parallèle (fig. 64), la seconde arête *b* de la base supérieure doit être remplacée par un plan de même inclinaison sur la face correspondante du prisme. L'intersection de ces deux plans se trouve dans le plan de symétrie. Les arêtes *d* n'étant pas de même nature ne seront pas nécessairement modifiées, mais si elles l'étaient on obtiendrait un octaèdre par la combinaison des deux formes, car il y a huit de ces arêtes, d'où huit plans. Les arêtes *b* ou *d* étant modifiées seules, on obtient un *hémioctaèdre, postérieur* s'il s'agit des arêtes *b, antérieur* s'il s'agit des arêtes *d*.

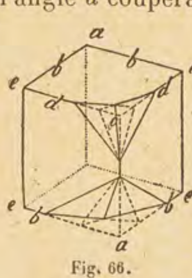

Fig. 64.

2° *Sur les arêtes verticales* h *ou* g. — Remplaçons l'arête *h*, par exemple (fig. 65), par un plan qui lui soit parallèle et qui détache des longueurs égales sur les arêtes basiques adjacentes *b* ou *d*, il est unique pour cette arête et se suffit à lui-même au point de vue de la symétrie. Mais il y a une seconde arête *h* qui doit être traitée de la même manière, en tout deux plans parallèles à l'*orthodiagonale* des bases. S'ils sont très développés sur le cristal, celui-ci prendra l'apparence d'une table, d'où le nom de *pinacoïde* (πίναξ, table) donné à leur ensemble; ce couple étant parallèle à l'*orthodiagonale*, on le nommera *orthopinacoïde*.


Fig. 65.

S'il s'agissait d'une arête *g*, on aurait un *clinopinacoïde*, les deux plans correspondants étant parallèles à la *clinodiagonale* des bases.

Modifications sur les angles par un plan quelconque. — 1° *Sur les angles* a et o. — Un plan modifiant l'angle *a* coupera les trois arêtes qui y aboutissent à des distances quelconques de son sommet (fig. 66). Mais de cette façon les deux arêtes *b*, éléments identiques, ne sont pas traitées de la même manière. Pour qu'il en soit ainsi, il faut un second plan placé symétriquement par rapport au plan de symétrie passant par la clinodiagonale. L'angle *o* étant différent ne sera pas nécessairement modifié, mais s'il l'était on aurait ainsi un système de quatre plans formant une pyramide composée de deux couples de faces différentes, d'où le nom d'*hémiorthopyramide postérieure* donné au double plan modifiant l'angle *a*.


Fig. 66.

Tout ce qui vient d'être dit s'appliquerait à une modification semblable de l'angle *o*, qui peut fournir de son côté une *hémiorthopyramide antérieure* (même fig.).

2° *Sur les angles* e. — Un plan quelconque tronquant un angle *e*, *se suffira à lui-même*, mais devra se répéter sur chaque angle. En considérant seulement la partie supérieure du cristal, on aura deux faces se coupant dans le plan de symétrie. Ce système peut être considéré comme formant la moitié d'une pyramide à quatre faces. Leur intersection se trouvant dans le plan de la clinodiagonale prendra le nom d'*hémiclinopyramide*.

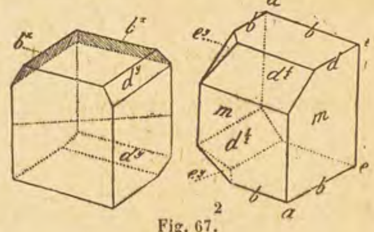
Modifications quelconques sur les arêtes *h* ou *g*. — D'après la définition, ce sont des plans parallèles à ces arêtes.

1° Supposons que l'arête *h* soit remplacée par un plan qui lui soit parallèle, ce plan coupera les deux arêtes supérieures, et les deux arêtes inférieures à des longueurs différentes. Il faudra donc un second plan symétrique du premier par rapport au plan de symétrie. Les deux arêtes *h* antérieure et postérieure étant traitées de la même façon, il en résulte quatre plans verticaux formant prisme, dont la section droite est évidemment un losange. Un tel système s'appelle *macroprisme*. Il est plus aplati que le prisme primitif.

2° Ce que nous venons de dire s'applique à la troncature des deux arêtes *g* par un plan qui leur est parallèle. Ce plan détachera sur les arêtes basiques *b* et *d* relatives à un angle *e* supérieur des longueurs différentes. Mais l'angle inférieur doit être traité de la même façon, et il en résulte un second plan également incliné sur le plan passant par les deux arêtes *g*. La seconde arête *g* en fournira deux autres. En tout quatre plans verticaux formant un prisme vertical à section droite losangique, mais plus renflé que le prisme primitif. On l'appelle *brachyprisme*.

HÉMIÉDRIE

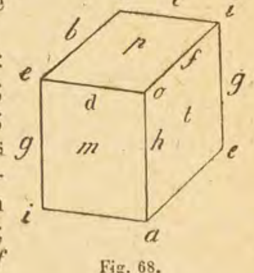
Si le centre et le plan de symétrie viennent à manquer, on aura un cristal pouvant présenter des modifications à droite ou à gauche seulement du plan de symétrie. On aura donc soit un cristal *droit* (fig. 67_1), soit un cristal *gauche* (fig. 67_2). L'acide tartrique est un exemple bien connu.


Fig. 67.

SYSTÈME TRICLINIQUE

La forme fondamentale est un prisme doublement oblique. On convient de placer ce prisme de façon à ce que le dièdre obtus de deux faces latérales soit placé devant l'observateur, la face supérieure étant inclinée d'arrière en avant (fig. 68).

Les éléments du prisme sont : 1° deux bases *p*; 2° deux faces *m*; 3° deux faces *t*; 4° deux angles *a*; 5° deux angles *e*; 6° deux angles *i*; 7° deux angles *o*; chacun d'entre eux étant symétrique de son semblable par rapport au centre; 8° quatre arêtes basiques *b*, *c*, *d*, *f* et leurs symétriques; 9° deux arêtes latérales *h* joignant les sommets *a* et *o*; 10° deux arêtes latérales *g* joignant les sommets *e* et *i*.


Fig. 68.

Le seul élément de symétrie qui subsiste dans le système est le centre du parallélipipède.

Chaque forme dérivée ne se compose que d'un seul couple de faces.

Les troncatures parallèles aux diagonales de la base portent le nom d'*hémidômes*; celles qui sont seulement parallèles aux arêtes latérales sans être parallèles en même temps aux diagonales de la base sont des *hémiprismes*; enfin le *macropinacoïde* et le *brachypinacoïde* sont à la fois parallèles aux arêtes latérales et à la macro ou à la brachydiagonale.

GROUPEMENTS CRISTALLINS RÉGULIERS

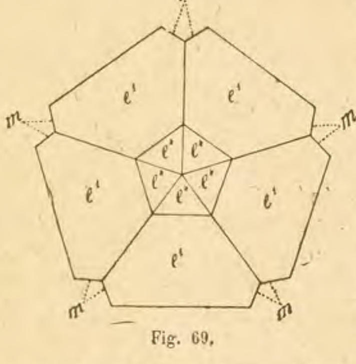
Groupements réguliers de cristaux. — Macles. — Un cristal simple est toujours, comme on l'a vu précédemment, un polyèdre convexe; cependant on rencontre fréquemment dans la nature des cristaux parfaitement réguliers présentant des angles rentrants ou encore possédant des éléments de symétrie autres que ceux de leur système cristallin. Mais ils ne sont pas simples et constituent en réalité un groupement d'individus dont chacun pris isolément présente la structure correspondant à l'une des sept symétries examinées ci-dessus. Ils peuvent se pénétrer et avoir des parties

communes. Leur réunion n'est pas due au hasard, mais chacun d'eux occupe dans l'association une place relative déterminée par certaines lois. Une telle association régulière prend le nom de *macle.*

On peut dire en général que le groupement résulte d'une tendance à la réalisation d'une symétrie supérieure à celle de l'individu.

S'agit-il d'une individualité hémièdre? Une seconde, en venant se joindre à elle, donnera naissance à une association holoèdre : c'est le cas des macles des cristaux hémiédriques. Le diamant nous en offre un exemple bien connu (pl. I, fig. 1). La pénétration de deux tétraèdres convenablement modifiés donne comme résultat un octaèdre, mais des gouttières creuses sur les arêtes viennent attester par leur présence la dualité d'origine. Dans ce cas et dans tous les cas semblables il y a simplement retour à la forme holoèdre. La nature répare ses imperfections.

Mais il n'en est pas toujours ainsi, et il se peut que la symétrie acquise ne soit pas celle d'un système cristallin. Nous en trouvons un exemple dans la macle de 5 cristaux de marcasite, variété dite *crête de coq* (fig. 69), qui correspond à une symétrie quinaire (par cinq) incompatible avec la structure cristalline.


Fig. 69.

Ce fait tient à l'existence d'éléments de symétrie de la particule dernière, qui peut être différente de celle des *édifices* que nous appelons *cristaux.*

Pendant longtemps on s'est borné à préciser les positions relatives des divers individus dans chaque groupement par l'application de certaines règles. Cette tendance a été d'abord celle de l'école allemande. Mallard a ensuite entrevu le rôle joué par certains éléments de symétrie approchés, rôle que M. Wallerant a précisé par sa définition mathématique des éléments de symétrie limite.

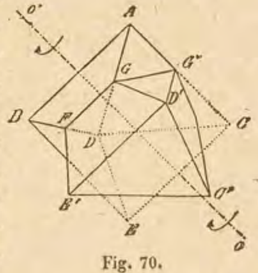
En nous plaçant au point de vue purement expérimental appuyé sur l'observation, on peut diviser les groupements en trois genres distincts : 1° ceux dans lesquels les arêtes de jonction forment une figure plane, ou *macles par accolement;* 2° les macles dans lesquelles les arêtes de jonction forment une figure gauche, ou *macles par pénétration;* 3° les groupements *isomorphiques,* où l'association se fait entre des substances non identiques.

Macles par accolement. — Hémitropie. — Le plus souvent deux individus se réunissent suivant une face commune à tous les deux, et cette face est en général de notation simple.

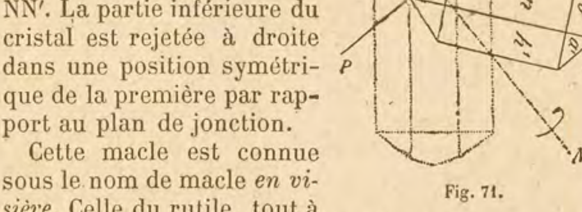
On peut définir géométriquement la situation relative des deux cristaux en les supposant primitivement l'un dans le prolongement de l'autre et en supposant que le second ait tourné de 180° autour d'un certain axe. On dit qu'il y a *hémitropie,* le cristal composé est dit *hémitrope,* et la macle est définie par deux éléments : 1° le plan de jonction; 2° l'axe d'hémitropie. Dans la plupart des cas, l'axe de rotation est perpendiculaire au plan de jonction, mais il peut lui être parallèle, et même oblique. — Les cas d'hémitropie sont nombreux en minéralogie; nous ne mentionnerons que les principaux.

MACLES PRINCIPALES DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Système cubique. — *Macle des spinelles.* — Imaginons un octaèdre cubique ABCDE (fig. 70); par le centre menons un plan FGG′ parallèle à l'une des faces, il coupe le cristal suivant un hexagone régulier plan. Supposons une perpendiculaire OO′ menée par le centre à ce plan et faisons tourner de 180° la moitié antérieure du cristal autour d'elle (portion de la figure dessinée au pointillé). Le triangle DCE prendra la position D′C′E′ dans laquelle les sommets E′, D′, C′ deviendront symétriques des sommets B, A, etc. Le nouveau solide présentera trois dièdres *rentrants* tels que AGG′D′. Comme son nom l'indique, cette macle est commune aux spinelles. Elle est représentée réelle (pl. V, fig. 13).

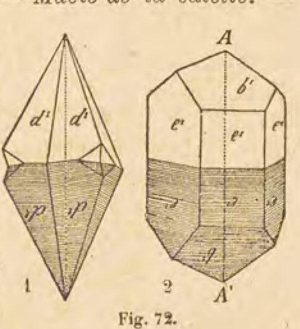

Fig. 70.

Système quadratique. — *Macle de la cassitérite.* — Le plus souvent, deux cristaux se réunissent (fig. 71) suivant un plan de jonction parallèle à la face d'un octaèdre direct dont ici la droite *pp′* est la trace. L'axe de rotation perpendiculaire au plan de jonction est situé dans le plan du tableau en NN′. La partie inférieure du cristal est rejetée à droite dans une position symétrique de la première par rapport au plan de jonction.


Fig. 71.

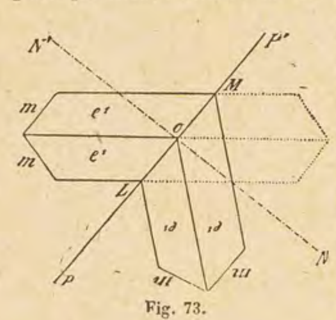
Cette macle est connue sous le nom de macle *en visière.* Celle du rutile, tout à fait analogue, est appelée macle *en genou* (pl. XVI, fig. 3, 4).

Système rhomboédrique. — *Macle de la calcite.* — Elle consiste en une hémitropie de la partie inférieure du cristal qui a tourné de 180° autour de l'axe vertical avec le plan perpendiculaire comme plan de jonction (fig. 72). 1 est la macle de deux scalénoèdres présentant les angles rentrants; 2 ne présente aucun angle rentrant, seulement le cristal possède un plan de symétrie normal à l'axe qui n'appartient pas au système et rhomboédrique.

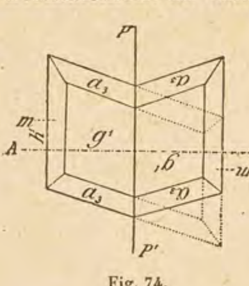

Fig. 72.

Système orthorhombique. — *Macle de l'aragonite.* — Deux cristaux se réunissent fréquemment par une face de jonction parallèle à la face du prisme *m.* La figure 73 représente une section normale aux faces *m.* *pp′* est la trace du plan parallèle à une face *m* du prisme. NN′ est la normale à ce plan. La partie de droite du cristal représentée en pointillé se dirige vers la base après une rotation de 180° autour de NN′.

Système chinorhombique. — *Macle du gypse.* — 1° Un cristal étant supposé coupé en son centre par un plan parallèle aux faces de l'orthopinacoïde, la moitié de droite, par exemple, tourne de 180° autour de la normale AA′ à ce plan (fig. 74) et prend une position symétrique par rapport à lui. C'est la macle en *queue d'hirondelle*, celle des cristaux représentés pl. X, fig. 15.

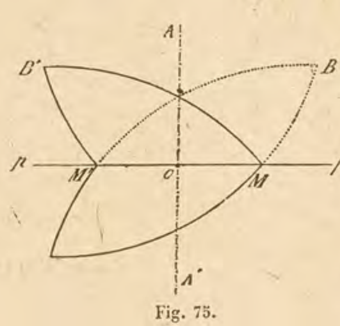

Fig. 73.

2° La macle dite en *fer de lance* résulte, elle aussi, d'une hémitropie. Supposons un cristal limité latéralement par le clinopinacoïde et portant une série de faces antérieures et postérieures d'hémiorthodômes sur les angles *a* et *o*. Vu normalement au clinopinacoïde, il se présente comme la section d'une espèce de lentille BMM′ (fig. 75). Soit *pp′* la trace d'un plan passant par le centre et parallèle à l'une des faces d'un certain hémiorthodôme postérieur. Par une rotation de 180° autour de la normale AA′ à ce plan, la partie MBM′ viendra en MB′M′, et le plan *pp′* devient plan de symétrie (pl. X, fig. 14).


Fig. 74.

Macles de l'orthose. — 1° *Macle de Mannbach.* — Deux cristaux primitivement dans le prolongement l'un de l'autre s'accolent suivant la base *p* après que l'un d'eux a tourné de 180° autour de la normale AA′ (fig. 76). La figure représente une section du cristal par le plan de symétrie.

2° *Macle de Baveno.*— Imaginons un cristal d'orthose coupé en son centre par un plan parallèle à un certain clinodôme déterminé. En faisant tourner l'une des moitiés du cristal de 180° par rapport à l'autre autour d'une normale passant par le centre et en soudant les deux parties l'une à l'autre, on obtiendra la macle de Baveno. (Voir *Orthose.*)


Fig. 75.

Système triclinique. — *Macle de l'albite.* — La forme fondamentale de l'albite est un prisme triclinique très voisin de celui de l'orthose, qui est orthorhombique. Les bases ne sont plus perpendiculaires sur le plan passant par les arêtes verticales antérieure et postérieure (plan de symétrie de l'orthose). Les deux faces adjacentes à la même arête *h* ne sont plus identiques; l'une est *m*, et l'autre *t*. Mais si nous venons à faire tourner la partie droite (fig. 77) du cristal supposé découpé, autour d'une normale au plan de section, les deux parties, par une rotation de 180°, deviendront symétriques par rapport à ce plan, mais la face *p* de la partie supérieure viendra se placer en regard de la face *p* de l'autre moitié. Comme elles ne sont pas perpendiculaires au plan, il en résultera une sorte de *gouttière* caractéristique. En avant, il y aura deux faces *m* de même nature; en arrière, deux pans *t*, et on aura l'apparence de la figure 77.

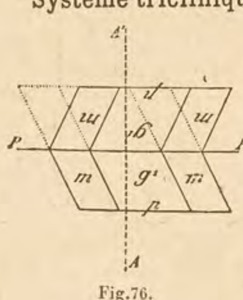

Fig.76.

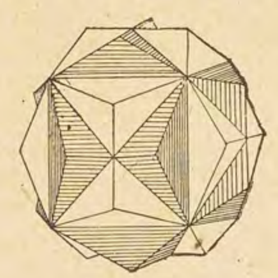
Fig. 77.

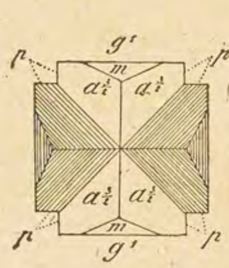
Macles par pénétration. — Dans ces macles, les arêtes de jonction ne forment plus un polygone plan.

Nous donnerons comme exemple la macle de la *croix de fer*, combinaison de deux dodécaèdres pentagonaux de pyrite (fig. 78), et celle du diamant, combinaison de deux tétraèdres. (Voir *Diamant.*)

Il y a simplement dans ces deux cas restitution de la symétrie holoèdre.

Dans la macle de la *croisette*, variété de staurotide (pl. XVI, fig. 14), il y a pénétration de deux cristaux à angle droit, de telle manière qu'ils aient en commun un axe binaire qui devient axe quaternaire pour le groupe, axe qui ne comporte aucun des cristaux isolés (fig. 79).

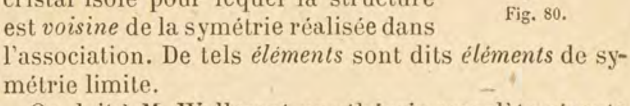

Fig. 78.


Fig. 79.

Dans la macle de Carlsbad de l'orthose (pl. XX, fig. 5), deux cristaux se pénètrent après avoir tourné l'un par rapport à l'autre de 180° autour d'une parallèle aux arêtes *h* (fig. 80).

On a constaté que les éléments de symétrie qui prennent naissance dans un groupement de cristaux régulier coïncident avec un élément de chaque cristal isolé pour lequel la structure est *voisine* de la symétrie réalisée dans l'association. De tels *éléments* sont dits *éléments* de symétrie limite.

Fig. 80.



On doit à M. Wallerant une théorie complète récente des groupements réguliers.

CHAPITRE III

OPTIQUE CRISTALLINE

Les phénomènes d'optique physique auxquels on a souvent recours en minéralogie pour la diagnose des espèces s'observent sur des lames à faces parallèles taillées suivant une direction parfaitement déterminée dans le cristal soumis à l'examen. Ce sont, en lumière paral-

lèle, les directions d'extinction et la coloration correspondante à une épaisseur donnée; en lumière convergente, les figures d'interférence et la détermination du signe optique.

L'observation se fait presque exclusivement aux *nicols croisés*. Nous allons exposer le plus brièvement possible les principes sur lesquels reposent ces différentes constatations.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES MINÉRAUX

Au point de vue de la détermination, de la différenciation et de l'étude des espèces minérales, les propriétés *optiques* sont d'un intérêt de premier ordre. Elles permettent souvent de reconnaître un minéral à simple vue; c'est ainsi que leur couleur désignera immédiatement à un observateur exercé l'or, la malachite, l'azurite, le grenat ordinaire, etc. L'éclat gras est caractéristique pour un petit nombre d'espèces. La double réfraction permettra de différencier plusieurs pierres du plus haut prix, comme le rubis et le saphir, de leurs imitations en strass. Enfin, *l'indice de réfraction* est une donnée caractéristique des espèces transparentes. On voit, sans qu'il soit besoin d'insister davantage, toute l'importance de l'examen des propriétés optiques et ses applications immédiates.

Lumière. — On donne le nom de lumière à la cause générale des impressions visuelles transmises par la rétine au nerf optique et auxquelles nous devons les notions de *forme* et de *couleur*.

Quand un corps est visible pour notre œil, on dit qu'il *émet de la lumière*. Dire que cette lumière se propage en ligne droite, c'est exprimer ce fait qu'une petite surface lumineuse assimilable à un point géométrique, grâce à la petitesse de ses dimensions, n'est visible que si aucun obstacle ne se trouve situé sur la droite géométrique qui la joint à l'œil de l'observateur, en supposant toutefois que le milieu interposé entre ses deux extrémités soit homogène.

Cette droite porte le nom de *rayon lumineux*. Il en existe d'ailleurs une infinité dans toutes les directions autour du point.

Si l'œil vient à recevoir une série de rayons ayant entre eux des rapports d'inclinaison qui fassent converger leurs prolongements en un point unique, sa nature est telle, qu'il conclut de l'impression résultant de l'ensemble, à l'existence d'un point lumineux. Celui-ci pourra d'ailleurs ne pas exister réellement, et l'on ne *verra*, dans ce cas, que l'*image* d'un tel point.

Surface lumineuse. — On peut la considérer comme un ensemble de points lumineux tels que nous venons de les définir. L'impression résultant de cet ensemble donne la notion de *forme*.

Couleur. — En outre de ces propriétés géométriques communes à tous, les rayons lumineux se distinguent les uns des autres par un mode d'action sur la rétine spécial à chacun d'eux et que l'on nomme leur *couleur*.

L'étude des propriétés des rayons lumineux et des phénomènes auxquels ils donnent lieu constitue l'*optique*. Ces phénomènes peuvent être rangés en deux grandes classes.

On réunit dans la première tous ceux dans l'explication desquels tout rayon peut être assimilé à une droite géométrique jouissant des mêmes propriétés dans tous les azimuths. Ils font l'objet de l'optique géométrique. Ce sont les phénomènes de dispersion, de réflexion et de réfraction.

La seconde classe comprend l'ensemble des faits qui ne peuvent s'expliquer que par une variation de propriétés du rayon dans les différents azimuths. Ceux-ci sont du domaine de l'optique physique, qui étudie les phénomènes de polarisation, d'interférence, de double réfraction et de polychroïsme.

Deux exemples feront comprendre la différence qui existe entre ces deux ordres de faits. L'appareil qui nous servira se compose simplement d'une lame de tourmaline verte à faces parallèles et taillée parallèlement à l'axe principal de ce minéral. Imaginons d'abord un faisceau de rayons solaires parallèles tombant normalement sur la lame. L'œil placé en arrière recevra un faisceau de rayons colorés en vert après leur passage au travers de la lame. Faisons ensuite tourner celle-ci sur elle-même dans son plan. Quelle que soit l'orientation d'une ligne de repère tracée sur sa surface, l'intensité de la lumière transmise à l'œil ne variera pas. Le faisceau incident possède donc la même *symétrie* dans tous les azimuths.

Substituons maintenant au faisceau de rayons solaires directs, un autre faisceau obtenu par réflexion de celui-ci sur un miroir de verre noir incliné de 35° 25′ sur sa direction primitive, et répétons avec notre lame de tourmaline le même essai que tout à l'heure. Le résultat obtenu sera tout différent. Pour une orientation bien déterminée de la lame dans son plan, l'intensité du faisceau transmis sera maxima. En faisant tourner la lame dans un sens déterminé, cette intensité ira en décroissant jusqu'à devenir nulle pour une position perpendiculaire, puis elle recommencera à croître à partir de zéro, pour acquérir une valeur maxima égale à la première après une rotation de 180°. En continuant à faire tourner la lame sur elle-même dans le même sens, on retrouvera périodiquement les mêmes résultats. Il est donc établi que le faisceau incident possède des propriétés spéciales dans chaque azimuth considéré; on dit qu'il est *polarisé*.

Nous rappellerons simplement les faits généraux de l'optique géométrique sans y insister, ceux-ci étant décrits en détail dans les ouvrages de physique élémentaire. Nous nous étendrons davantage sur les phénomènes d'optique physique moins connus.

Constitution de la lumière blanche. — Imaginons un faisceau circulaire très délié de rayons de lumière solaire tombant sur un *prisme*. On appelle ainsi un morceau de verre limité par deux faces obliques. Le faisceau est dévié vers la base du dièdre formé par les deux faces, en vertu d'un phénomène de réfraction sur lequel nous reviendrons plus loin. Pour l'instant, il nous suffit de remarquer que le faisceau n'est plus circulaire à la sortie, mais qu'en le recevant sur un écran il s'étalera dans un plan normal à l'arête des faces du prisme sur une bande colorée dans laquelle on peut distinguer sept couleurs principales : ce sont les couleurs de l'*arc-en-ciel* ou du *spectre* (fig. 81). En faisant un trou dans l'écran on peut isoler un faisceau de chaque couleur et répéter sur lui la même expérience avec un second prisme. Il sera dévié de la ligne droite, mais ne s'étalera plus. Le faisceau sera dit monochromatique. Chaque couleur sera caractérisée par l'angle de déviation particulier que lui fait subir le prisme

employé. En réalité, si l'œil, par suite de son imperfection, distingue seulement sept régions dans le spectre, il y en a une infinité. On peut donc envisager la lumière blanche comme formée d'une infinité de radiations simples ou *monochromatiques*. Dans tout ce qui

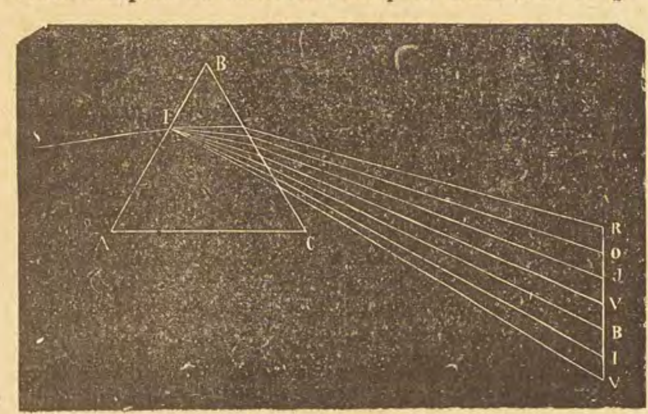


Fig. 81.

va suivre nous supposerons toujours une lumière simple, à moins que le contraire ne soit expressément spécifié. Il en est une très facile à obtenir, c'est celle émise par la flamme de l'alcool salé; elle est d'un emploi constant en optique.

Couleurs complémentaires. — Si, par un moyen quelconque, on vient à supprimer un certain nombre de radiations dans un faisceau de lumière blanche, le reste du faisceau possédera une certaine teinte. Les rayons supprimés en donneraient une autre dite complémentaire de la première. Leur superposition constitue la lumière blanche.

Réflexion. — La réflexion consiste en ce fait qu'un rayon lumineux tombant sur une surface polie non susceptible de l'absorber, le renvoie dans une direction unique. On nomme angle d'incidence et angle de réflexion les angles plans formés respectivement par chacun des rayons avec la normale au point de contact.

Le phénomène est réglé par les deux lois suivantes : 1° le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale sont dans un même plan; 2° l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Si le rayon incident est formé de plusieurs radiations simples, il y aura, en général, absorption plus ou moins complète d'un certain nombre d'entre elles, et le faisceau réfléchi différera de teinte du faisceau incident.

L'expérience et la théorie démontrent que le faisceau de rayons réfléchis émanés d'un point lumineux vont concourir en un point symétrique situé de l'autre côté de la surface réfléchissante. Il en résulte qu'un objet réfléchi dans un miroir donne une image dite *virtuelle*, symétrique de cet objet par rapport à lui.

Réflexion à la surface des corps transparents. — Les corps ne réfléchissent, en général, qu'une portion de la lumière incidente; l'autre partie pénètre à l'intérieur par un phénomène dit de *réfraction* dont il sera question plus loin.

Réflexion irrégulière ou diffusion. — C'est celle qui se produit à la surface des corps mats ou non polis. On peut admettre que les rugosités dont ils sont couverts fonctionnent comme une infinité de petites surfaces d'orientations diverses qui réfléchissent la lumière dans tous les sens. C'est grâce à cette diffusion que nous pouvons percevoir les objets extérieurs.

Réfraction. — On appelle ainsi la déviation subie par un rayon lumineux traversant la surface de séparation de deux milieux transparents de densités différentes et non cristallisés ou cristallisés dans le système cubique.

Supposons d'abord qu'un faisceau de rayons passe d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense, il se divise en deux parties : l'une est réfléchie en suivant les lois énoncées ci-dessus, l'autre traverse la surface, se rapproche de la normale au point d'incidence et constitue le rayon réfracté. On doit considérer : 1° l'angle d'incidence, qui a même définition que précédemment; 2° l'angle de réfraction formé par le rayon réfracté et la normale au point d'incidence. Le rayon réfracté obéit aux deux lois suivantes, dites *lois de Descartes* :

1re loi. — Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale menée à la surface de séparation par le point d'incidence sont dans un même plan.

2e loi. — Le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est constant pour deux milieux donnés. Ce rapport constant est caractéristique du système des deux milieux; on l'appelle *indice de réfraction* du second milieu par rapport au premier, et on le désigne par le symbole

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n.$$

En minéralogie, l'indice des minéraux est toujours pris *par rapport à l'air* qui forme le premier milieu.

Variation de l'indice avec la nature de la radiation, c'est-à-dire la couleur. — L'expérience faite antérieurement avec le prisme a montré que, pour un même angle d'incidence, il y avait autant de déviations particulières que de sortes de radiations. Une substance transparente présente donc une infinité d'indices différents, suivant la couleur de la lumière employée. On choisit ordinairement celle de l'alcool salé, qui est jaune et sensiblement monochromatique.

L'indice est caractéristique de la substance; il est toujours plus grand que l'unité, car il est d'autant plus élevé que le milieu est plus dense, et tous les minéraux sont plus denses que l'air.

Angle limite et réflexion totale. — Il est à remarquer que dans le cas examiné plus haut, quelle que soit la valeur de l'angle d'incidence, il y a toujours un rayon réfracté. Il n'en est plus de même si l'on suppose le rayon incident situé dans le milieu le *plus dense*. En supposant la normale à la surface menée au point de contact, le rayon réfracté s'en éloigne, l'angle de réfraction est supérieur à l'angle d'incidence et croît plus vite que lui. Il en est de même des sinus.

Il résulte immédiatement de ce fait que, pour une certaine valeur de l'angle d'incidence, le rayon réfracté sort tangentiellement à la surface. Cette valeur prend le nom d'*angle limite*. Pour les incidences plus grandes, le rayon ne traverse plus la surface, et, après l'avoir touchée, il est réfléchi dans le même milieu : il y a *réflexion totale*. L'angle limite est donc la plus grande valeur que puisse acquérir l'angle d'incidence pour que le passage d'un rayon d'un milieu plus dense dans un milieu moins dense puisse avoir lieu.

L'expérience et la théorie montrent que les rayons

divergents émis par un point lumineux convergent après réfraction en un seul point et donnent une image de ce point.

Détermination des indices de réfraction. — Nous ne ferons qu'indiquer le principe des procédés les plus employés.

1° *Méthode du duc de Chaulnes.* — On taille une lame à faces parallèles du corps dont on cherche l'indice, puis, en se servant d'un microscope dont on peut, à l'aide d'une vis micrométrique, évaluer le déplacement vertical, on effectue la mise au point d'un petit objet posé sur le porte-objet; on le recouvre ensuite de la lame donnée, et on mesure au moyen de la vis micrométrique la distance dont il faut élever le corps de l'instrument pour mettre au point l'image de l'objet. Connaissant l'épaisseur de la lame, une formule simple donne la valeur de l'indice de réfraction. (Voir Mallard, *Traité de cristallographie physique*, t. II, p. 440.)

2° *Méthode du prisme.* — Elle est décrite dans tous les traités de physique et consiste à mesurer l'angle dièdre d'un prisme de la substance considérée, puis à déterminer la déviation minimum d'un rayon de lumière monochromatique tombant sur lui.

3° *Méthode des réfractomètres.* — Elle consiste à tailler une face plane sur la substance à étudier, à recouvrir celle-ci d'une substance plus réfringente d'indice connu, puis à déterminer l'angle limite relatif au passage du rayon de cette substance dans la lame. Ce procédé est précieux en ce qu'il n'exige pas la confection d'un prisme et peut s'effectuer sur un fragment de dimensions quelconques.

4° *Méthode d'immersion.* — Applicable aux corps incolores transparents.

Principe. — Le contour d'un solide transparent immergé dans un liquide de même indice disparaît complètement, et les deux milieux se confondent, au point de vue optique, en lumière naturelle.

Application. — La méthode consiste à trouver un liquide d'indice tel qu'un menu fragment de la substance à étudier placé sur le porte-objet d'un microscope et baigné dans une goutte de ce liquide ne montre plus à l'examen microscopique de contours distincts.

On a dressé une table de liquides d'indices différents que l'on essayera successivement.

Les principaux sont :

Eau	1,33
Alcool	1,36
Alcool amylique	1,40
Chloroforme	1,45
Benzène	1,50
Créosote	1,54
Huile d'amandes amères	1,60
Monobromonaphtalène	1,66
Iodomercurate de potassium saturé	1,73

On peut encore se servir d'un mélange de ce dernier liquide et d'eau que l'on y ajoutera peu à peu jusqu'à ce qu'on obtienne le résultat voulu. On déterminera ensuite l'indice de ce liquide d'après une méthode connue. Cet indice est celui de la substance.

Relation de l'indice d'un milieu avec la vitesse de propagation d'un rayon dans ce milieu. — Soit v la vitesse de propagation d'un rayon de couleur simple dans un premier milieu, v' sa vitesse de propagation dans un second, on démontre que l'on a toujours

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{v}{v'}.$$

Si le milieu contenant le rayon incident est l'air, en prenant pour unité la vitesse de propagation dans l'air on a :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{1}{v'}.$$

v', vitesse de propagation dans un cristal donné, est donc égale à l'inverse de l'indice du cristal pris par rapport à l'air.

Cette remarque nous sera d'une grande utilité par la suite.

OPTIQUE PHYSIQUE

Hypothèse de l'éther. — La théorie de l'émission en vertu de laquelle les corps lumineux étaient supposés envoyer d'une manière continue dans toutes les directions des particules d'une nature particulière, suffisait à expliquer d'une façon simple tous les phénomènes étudiés par l'optique géométrique. Il n'en est plus de même pour ceux qui sont du ressort de l'optique physique, qui ne peuvent recevoir d'explication satisfaisante que dans la théorie des ondulations.

Elle repose tout entière sur l'hypothèse de l'existence de l'*éther*.

L'éther serait un milieu composé de particules impondérables situées à des distances si rapprochées les unes des autres qu'elles confondent l'imagination.

Ce fluide remplit tout l'espace accessible à nos observations et s'étend jusqu'aux étoiles les plus reculées; en outre il pénètre tous les corps de quelque nature qu'ils soient. Il est *isotrope*, c'est-à-dire qu'autour d'une quelconque de ses particules il y a identité de propriétés dans toutes les directions. Il est incompressible, élastique, et ses particules sont susceptibles de vibrer en tout sens autour de leur position d'équilibre. Enfin il existe entre elles et les molécules des corps des *liaisons* analogues aux attractions qu'exercent les uns sur les autres les corps électrisés et qui sont susceptibles de dévier leurs mouvements vibratoires.

Telles sont les propriétés nécessaires dont a doué l'éther l'imagination des physiciens pour pouvoir relier entre eux les phénomènes de double réfraction et de polarisation.

Rayon lumineux. — La droite géométrique à laquelle nous avons jusqu'ici assimilé le rayon lumineux dans un milieu homogène, rencontre dans l'obscurité un nombre extrêmement grand de particules d'éther à l'état de repos. Si l'une d'entre elles vient à être écartée de sa position d'équilibre dans un plan *perpendiculaire* à la direction de propagation considérée, elle tendra à y revenir en vertu de l'élasticité de l'éther, la dépassera, reviendra en arrière et exécutera de part et d'autre dans le même plan, des oscillations analogues à celles d'un pendule.

Mais elle ne vibrera pas seule. En vertu d'une *liaison* que nous avons supposée, par *sympathie* pourrait-on dire, la particule voisine prendra un mouvement vibratoire identique, mais avec un *certain retard* sur elle, et ainsi de suite de proche en proche jusqu'à l'œil de l'observateur, qui perçoit de ce fait une impression de lumière. Le système de particules en mouvement prend le nom de rayon lumineux.

Vitesse de propagation. Longueur d'onde. — Le retard mis par chaque particule à suivre l'*exemple* de la précédente est constant : c'est le temps que met la lumière à franchir le petit espace qui les sépare.

La vitesse correspondante, c'est-à-dire la distance à laquelle se transmet de particule à particule l'ébranlement initial en une seconde, est de 300,000 kilomètres. C'est ce qu'on entend par vitesse de la lumière.

La considération du petit retard dû, si l'on peut s'exprimer ainsi, à la *paresse* de chaque particule, conduit à une autre notion d'une importance extrême, celle de la *longueur d'onde.*

D'après ce qui précède, l'état *vibratoire,* c'est-à-dire *la vitesse et la position* d'une particule à un moment donné sur sa trajectoire, est identique à l'état vibratoire possédé un instant auparavant par la particule précédente, laquelle devait, dans les mêmes conditions, le sien à une autre, ainsi de suite.

Il résulte de là qu'il existe sûrement une particule antérieure possédant à ce moment même un état vibratoire identique, et que cette particule a exécuté une *vibration complète,* pendant le temps mis à la propagation de l'ébranlement.

La distance qui sépare les plans de vibration des deux particules a reçu le nom de *longueur d'onde;* elle varie d'un milieu à l'autre proportionnellement à la vitesse de propagation, mais elle est *constante pour un même milieu,* l'air par exemple, et est caractéristique *de la couleur du rayon.*

Amplitude. Intensité. — Chacune des particules considérée isolément exécute donc, pendant le temps que met la lumière à parcourir une longueur d'onde, une oscillation entière. On appelle ***amplitude*** la distance maxima dont elle s'écarte de la droite d'équilibre (rayon géométrique) pendant son mouvement. Cette distance est la même pour toutes, et l'***intensité*** du rayon est proportionnelle à son *carré.*

Toutes ces positions extrêmes sont situées, dans le cas le plus général (lumière naturelle), à la surface d'un cylindre circulaire ayant pour axe la ligne d'équilibre. Nous appellerons ce cylindre **domaine vibratoire.** Si *son rayon est nul,* les diverses particules demeurent toutes en repos, le rayon lumineux a une intensité nulle et ne donne à l'œil aucune impression de lumière.

Rayon polarisé. — Le mouvement de chaque particule, au lieu de s'effectuer dans un azimuth quelconque autour de la droite d'équilibre (rayon lumineux géométrique), peut avoir lieu dans un plan unique pour toutes. Toutes les trajectoires deviennent rectilignes, parallèles, et sont contenues dans un plan unique passant par la droite d'équilibre (rayon géométrique) que nous appellerons *plan de vibration.* On exprime ce fait en disant que le rayon est polarisé dans un *plan perpendiculaire au plan de vibration.* Il a acquis, du fait de l'orientation unique et non plus quelconque du mouvement de ses particules, une dissymétrie dans les divers azimuths, et ses propriétés ne sont plus identiques dans toutes les directions.

Ici, toutes les particules situées dans l'état d'équilibre à *une longueur d'onde* les unes des autres se meuvent dans le plan de vibration suivant des droites parallèles. Elles sont situées au même instant à la *même* distance (*élongation*) de la droite d'équilibre, du même côté, et possèdent des vitesses égales et de même sens. On exprime ce fait en disant qu'elles sont de *même phase.* (Voir fig. 82.)

D'autre part, deux particules dont les positions d'équilibre sont situées à une distance *d'une demi-longueur d'onde* se trouvent au même instant et à la même distance *de part et d'autre* de la droite d'équilibre, leurs vitesses sont égales et dirigées *en sens contraire;* on dit qu'elles sont dans des *phases opposées.*

Dans la figure ci-contre les groupes de particules $a_1a_2a_3$, $b_1b_2b_3$, $c_1c_2c_3$, $b'_1b'_2b'_3$, $a'_1a'_2{}'a_3$, sont animés de mouvements de *même phase,* les particules $a_1a_2a_3$ sont animées de mouvements de *phase opposée* à celui des particules $a'_1a'_2a'_3$. Il en est de même pour les particules $b_1b_2b_3$ et les particules $b'_1b'_2b'_3$.

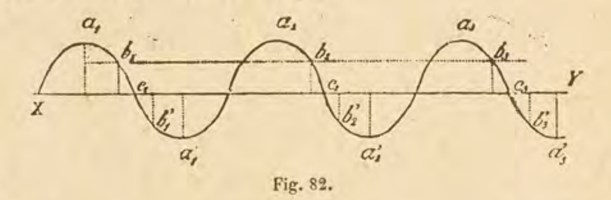


Fig. 82.

XY est le rayon géométrique sur lequel se trouveraient toutes les particules dans l'état de repos.

Chaque particule considérée isolément exécutant le même mouvement vibratoire, atteindra donc à un certain moment l'éloignement maximum de sa position d'équilibre, qui est le même pour toutes. L'intensité du rayon est proportionnel au carré de cette *élongation* maxima.

Le **domaine vibratoire**, c'est-à-dire l'espace nécessaire aux ébats des particules d'éther du rayon, sera plan et se composera d'un rectangle limité par deux droites parallèles à la droite d'équilibre. L'intensité est proportionnelle au carré de sa *largeur.* Si celle-ci est nulle, les particules seront toutes en repos et l'œil ne recevra aucune impression de lumière. Quand il s'agira de comparer des intensités, on pourra se borner à considérer seulement la moitié du domaine vibratoire comprise entre la droite d'équilibre et l'un des côtés du rectangle.

Les ondulations produites à la surface d'une nappe d'eau tranquille quand on projette une pierre en l'un de ses points, peut donner un exemple bien connu de mouvements vibratoires analogues. On sait qu'un tel ébranlement engendre une série d'ondulations circulaires se propageant dans toutes les directions avec une vitesse constante.

Imaginons un corps flottant, un bouchon par exemple, à la surface de cette eau. Il ne subira qu'une série de déplacements verticaux sans aucun mouvement de translation. A partir de sa position d'équilibre, il s'élèvera d'abord jusqu'à une certaine hauteur avec une vitesse variable, qui deviendra nulle au point le plus élevé de sa course. A ce point elle changera de sens; le bouchon descendra avec une vitesse croissante, dont le maximum coïncidera avec la position d'équilibre primitif, et qui décroîtra jusqu'à une position limite symétrique de la première, où elle s'annulera de nouveau en changeant de sens.

Supposons un plan passant par la verticale sur laquelle se meut le centre de gravité du bouchon et contenant d'autre part le point origine de l'ébranlement (la pierre), ce plan représentera le *plan de vibration.* La surface de l'eau *tranquille* sera le plan de *polarisation.* La droite qui joindrait le centre d'ébranlement à la position d'équilibre du bouchon quand l'eau est tranquille symbolisera le *rayon lumineux géométrique.*

Une série de bouchons flottant à la surface de l'eau

seront animés de mouvements identiques, qui seront de même *phase* pour ceux qui occupent ensemble le sommet de chaque ondulation au même instant. La distance des sommets des deux vagues consécutives sera ici la *longueur d'onde,* et deux bouchons quelconques situés à cette distance ou à un de ses multiples entiers dans le plan de *vibration,* seront animés de mouvements de *même phase.*

Il existe des moyens de faire tourner un rayon polarisé sur lui-même. Si la rotation est rapide, les particules vibrantes d'éther se trouveront successivement dans tous les azimuths, le domaine plan se transformera ainsi en un domaine cylindrique, il n'y aura plus de direction plane privilégiée, et nous retomberons ainsi (dans le cas d'une rotation non uniforme) sur de la lumière naturelle.

Superposition de deux rayons polarisés de vitesses de propagation identiques. Interférence. — Il peut arriver que deux rayons de même couleur, c'est-à-dire de même longueur d'onde et d'*égale intensité,* polarisés dans le même plan viennent à se superposer.

Plusieurs cas peuvent se présenter, suivant la *différence de phase* existant entre les deux mouvements vibratoires de chacun d'eux.

1° *La différence de phase correspond à une, ou plus généralement à un nombre entier de longueurs d'onde.* — Nous savons que toutes les particules situées à une distance telle les unes des autres sont dans des états vibratoires identiques. Considérons une particule d'éther quelconque O (fig. 83) sollicitée à se mouvoir sous

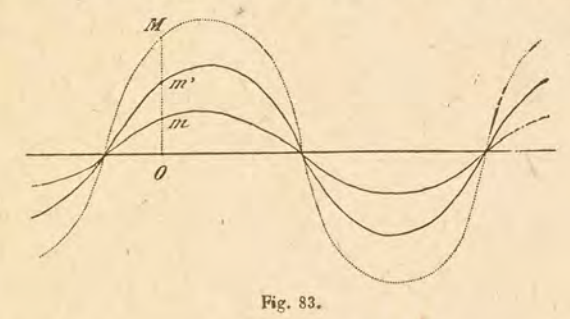


Fig. 83.

l'action commune de deux rayons. Elle sera soumise simultanément à une double influence, celle qui l'amènerait en *m* et celle qui l'amènerait en *m'*. En vertu du principe de l'indépendance des mouvements simultanés, elle viendra en M. Si ces deux actions sont égales, comme nous l'avons supposé, le domaine vibratoire sera doublé, et par suite l'intensité deviendra quatre fois plus forte.

2° *La différence de phase correspond à une demi, ou plus généralement un nombre impair de demi-longueurs d'onde.* — On sait que toutes les particules situées à cette distance sont dans un état vibratoire opposé. Sous l'action du premier rayon, une particule quelconque serait amenée à une distance O*m* (fig. 84) de sa position d'équilibre, mais, sous l'action égale et contraire du second agissant pendant le même temps, elle y serait ramenée. L'effet du second rayon annule donc l'effet du premier, et leur concours simultané laissera la particule dans sa position d'équilibre. Dans ce raisonnement nous avons supposé la particule *quelconque.* Donc il en sera de même pour l'ensemble de toutes les particules situées sur le rayon tout entier. Chaque particule subissant un déplacement constamment nul, son domaine *vibratoire est nul,* et par suite son *intensité.* On dit qu'il y a *interférence,* et les rayons se détruisent (fig. 84). On arrive donc à cette conclusion en apparence paradoxale : *de la lumière plus de la lumière donne de l'obscurité.*

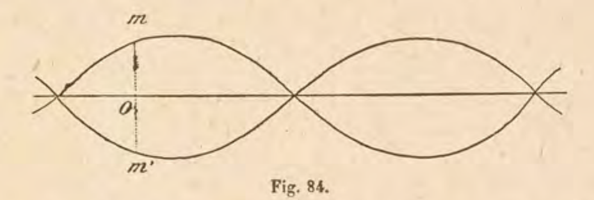


Fig. 84.

3° *La différence de phase est quelconque.* — Chaque particule tend à subir deux déplacements tantôt de même sens, tantôt de sens contraires. Le résultat tout le long du rayon est un mouvement vibratoire de *même période,* c'est-à-dire ayant même longueur d'onde que les composants, car deux particules situées à la distance d'une longueur d'onde sont soumises chacune à deux actions identiques (fig. 85).

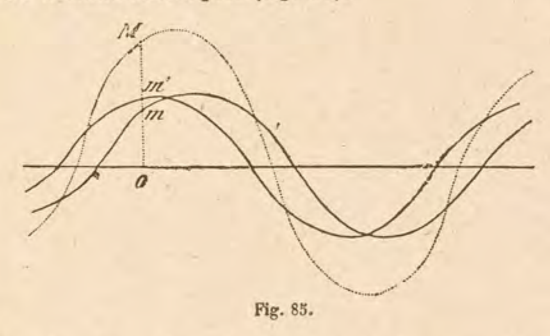


Fig. 85.

Le domaine plan résultant aura donc une largeur comprise entre *zéro* et le double de celle du domaine de chaque rayon pris isolément.

Milieux isotropes et anisotropes. — On appelle *milieu isotrope* celui dans lequel la vitesse de propagation du mouvement des particules le long d'un rayon est la même quelle que soit la direction de celui-ci et qu'il soit ou non polarisé. Il n'y a jamais dédoublement ni changement dans l'état de polarisation.

Dans un milieu *anisotrope,* au contraire, cette vitesse varie avec la direction de propagation et l'état de polarisation de l'incident, et il se produit des phénomènes de dédoublement que nous allons étudier.

I. Action d'une lame anisotrope à faces parallèles sur un rayon monochromatique incident naturel. — En entrant dans la lame, il se dédouble en deux autres de même longueur d'onde (couleur), de même intensité, mais d'indices différents, par suite des vitesses différentes et vibrant dans des plans rectangulaires. La position de ces plans dépend à la fois et de l'incidence du rayon et de la nature de la lame.

En vertu du principe de retour inverse des rayons, les deux émergents sortent de la lame parallèlement à la direction d'incidence.

Le domaine vibratoire cylindrique du rayon naturel se transforme donc à l'intérieur en deux domaines vibratoires plans.

Ainsi (fig. 86) le rayon naturel OS se partage en deux autres R_1 et R_2 vibrant dans les plans rectangulaires P et Q et ressortant en R'_1, R'_2 parallèlement à O'S', c'est-à-dire à OS, direction d'incidence.

La couleur et l'intensité agissent seules sur l'œil, qui

reste complètement indifférent à l'état de polarisation de la lumière qu'il reçoit.

Si, au lieu d'un rayon isolé, nous considérons un faisceau monochromatique de lumière naturelle, il donnera deux faisceaux réfractés de même couleur possédant une existence individuelle indépendante et se propageant séparément chacun pour son compte.

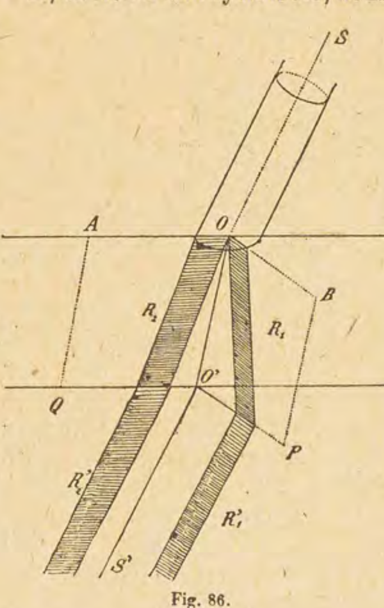


Fig. 86.

Origine des **rayons doubles.** — Si l'épaisseur de la lame est très faible par rapport à la section du faisceau incident, la distance qui séparera à sa sortie les deux rayons provenant d'un même incident sera négligeable, et les deux faisceaux émergents se recouvriront presque entièrement.

Je dis que dans la partie commune chemineront, suivant la même droite géométrique et indépendamment l'un de l'autre, deux rayons vibrant dans les plans rectangulaires.

Considérons, en effet (fig. 87), un rayon naturel incident OR. Il se dédouble en deux autres r_1 et r_2 parallèles à OR. De même, un second incident O'R' donnera naissance à r'_1 et r'_2. Or r_1, r'_1 vibrent parallèlement à un même plan, r_2, r'_2 parallèlement à un plan perpendiculaire. Donc r_2 et r'_1 ont leurs plans de vibration perpendiculaires. Mais nous pouvons déplacer O'R' parallèlement à lui-même, OR restant fixe, de telle façon

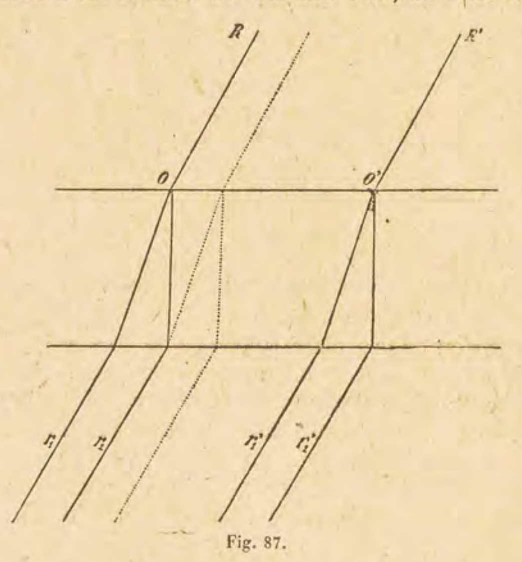


Fig. 87.

que r_2 et r'_1 coïncident. Cette nouvelle disposition est indiquée en pointillé sur la figure. On peut donc à tout rayon naturel incident du faisceau en faire correspondre un autre tel qu'ils donnent ensemble naissance à deux rayons se propageant suivant la même droite géométrique et vibrant dans des plans rectangulaires.

Ils ne peuvent d'ailleurs interférer, car toute particule d'éther subit de la part de chacun d'eux des actions *non directement* opposées et qui par suite ne peuvent *s'annuler*.

Nous appellerons un tel système *rayon double*. Comme ses composants ne se propagent pas avec la même vitesse, ils présentent à la sortie une certaine différence de phase acquise pendant la traversée de la lame; Ils la conserveront indéfiniment en passant dans un milieu isotrope.

Pour abréger le langage, nous appellerons cette différence constante la *différence de phase du rayon double*.

Les deux domaines correspondants sont égaux et rectangulaires. Pour une lame donnée et pour une incidence donnée leur orientation est invariable. On verra plus tard qu'ils sont parallèles aux axes d'une certaine ellipse caractéristique liée aux éléments de symétrie du cristal dans lequel on suppose la lame découpée.

Un cas intéressant est celui où le faisceau incident est *perpendiculaire aux deux faces de la lame*. On peut alors sensiblement admettre qu'à tout incident correspond un rayon double situé dans son prolongement, les deux incidents concourant à sa formation étant excessivement voisins. C'est ce cas unique que nous supposerons dans l'étude des phénomènes optiques en lumière parallèle.

II. **Action d'une lame anisotrope à faces parallèles sur un rayon polarisé qui tombe sur elle normalement.** — Il peut se présenter deux cas :

1° Le domaine vibratoire de l'incident coïncide avec l'un des deux axes rectangulaires de l'ellipse caractéristique de la lame.

Le plan de vibration ne change pas, il *n'y a pas dédoublement*, mais simplement changement de vitesse de propagation. En somme, le rayon se comporte comme dans un milieu isotrope.

2° Le domaine vibratoire de l'incident ne coïncide pas avec l'une de ces deux directions planes rectangulaires (fig. 88). Il se décomposera alors en deux autres *de domaines différents* situés dans chacun de ces plans. Leurs largeurs sont respectivement égales aux projections rectangulaires de celle du domaine incident sur chacune des deux directions planes, et sont données par la règle du parallélogramme des forces.

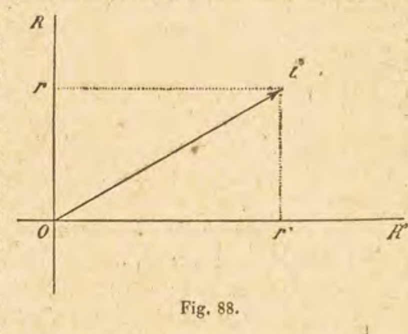


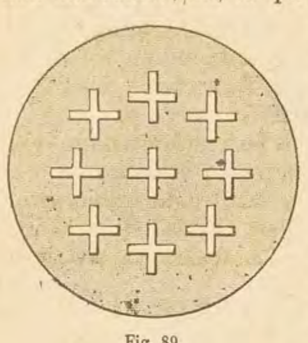
Fig. 88.

Prenons le plan du papier comme face supérieure de la lame. Soit Oi la largeur du domaine incident, OR et OR' les directions caractéristiques de la lame, Or et Or' sont les largeurs des domaines correspondant au dédoublement. La somme des intensités $(Or)^2 + (Or')^2$ est égale à l'intensité de l'incident $(Oi)^2$, car les triangles (Oir) et (Oir') sont rectangles.

Dans un faisceau incident composé de rayons parallèles, chacun se conduira isolément de la même manière que les autres. Il suffira donc ultérieurement,

lorsqu'il s'agira d'un faisceau de rayons parallèles, de considérer la modification éprouvée par *un seul rayon*.

En résumé, un rayon lumineux, en pénétrant dans un milieu *anisotrope*, se décompose en deux autres polarisés à angle droit et animés de vitesses de propagation différentes, ou, ce qui revient au même, d'indices de réfraction différents. Chacun d'eux se conduira dans tous les phénomènes d'*optique géométrique* comme un rayon de lumière naturelle de même couleur et de même indice.


Fig. 89.

Une lame *anisotrope* se comportera donc comme une espèce de *crible* dont les trous seraient respectivement formés de deux fentes en forme de croix, tous orientés de la même façon et ne permettant par suite le passage qu'aux domaines vibratoires possédant l'une ou l'autre de ces deux directions (fig. 89).

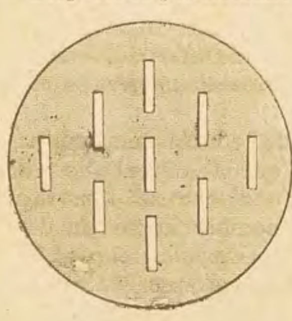
Si les rayons incidents sont naturels, les domaines émergents sont égaux. Ils sont en général inégaux s'ils sont polarisés.

Double réfraction. — L'observation d'un point lumineux unique à travers une lame anisotrope suffisamment épaisse pour amener la séparation des faisceaux doit, d'après ce qui précède, donner lieu à deux images distinctes résultant de l'épanouissement dans l'air de deux faisceaux divergents d'indices différents. Chacun d'eux, en effet, pris isolément, suivra les lois de l'optique géométrique et donnera pour son compte une image. Elles seront de même couleur, mais de position et de polarisation différentes. Observées, par exemple, à travers une tourmaline taillée parallèlement à l'axe prise comme *analyseur*, pour une certaine orientation, l'une d'elles disparaîtra totalement tandis que l'autre se présentera avec son intensité maxima.

L'image d'un objet quelconque se composant de l'ensemble de celles de ses divers points devra par suite être double. Ce phénomène remarquable est facilement observable sur des cristaux de spath d'Islande (calcite) de 1 cm. d'épaisseur. La figure 10, pl. IX, en donne une représentation très exacte.

On remarquera que si les dimensions de l'objet sont supérieures à l'écartement des deux images d'un même point, ses deux images se recouvriront en partie.

Dispositifs permettant d'obtenir de la lumière polarisée ou de constater sa présence. — 1° Par absorption. *Tourmaline.* — Une lame de tourmaline à faces parallèles et taillée parallèlement à son axe cristallographique décompose un rayon tombant normalement sur elle ou deux autres, l'un de domaine parallèle à l'axe, l'autre perpendiculaire. Or, ce minéral possède la curieuse propriété d'absorber ce dernier sous une faible épaisseur. Une telle lame constitue donc une sorte de *crible* qui ne laisse passer que les rayons de domaine parallèle à son axe cristallographique (fig. 90).


Fig. 90.

L'emploi de la tourmaline possède le grave inconvénient de ne transmettre que de la lumière colorée.

2° Par réfraction. *Nicol.* — Pour le construire, on prend un cristal de spath d'Islande (calcite) et on le clive parallèlement à deux de ses faces (fig. 92) de manière à obtenir un prisme parallélipipédique à base de losange et allongé dans le sens de la troisième arête culminante.

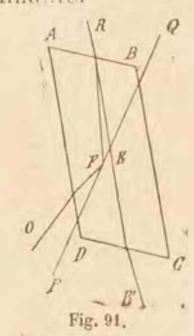


Fig. 91.

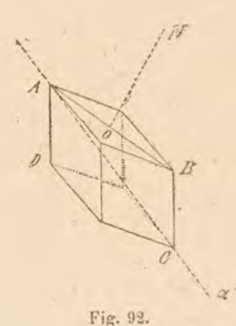


Fig. 92.

Si l'on fait tomber sur sa base supérieure, et parallèlement à la direction d'allongement, un faisceau de rayons parallèles, chaque rayon de ce faisceau se divise en deux autres de domaines rectangulaires (fig. 91). Le moins dévié est celui dont le domaine est parallèle à la section principale. On nomme ainsi (fig. 92) le plan passant par l'axe principal AC du rhomboèdre et une arête culminante BC; il se confond donc ici avec le plan de symétrie cristallographique. On appelle ce rayon *rayon extraordinaire*.

On se débarrassera du second, nommé *rayon ordinaire*, en lui faisant subir, à l'aide de l'artifice suivant, la réflexion totale. Dans ce but, on coupe le prisme par un trait de scie suivant un plan PQ (fig. 91) normal à la section principale et on recolle les deux parties avec du baume de Canada, substance isotrope dont l'indice est intermédiaire entre ceux des deux faisceaux. L'inclinaison de ce plan sur la base a été calculée de telle sorte que le faisceau ordinaire soit réfléchi totalement et se trouve rejeté dans la monture contenant le système, tandis que le second se réfracte à travers la couche de baume et continue son chemin jusqu'à l'émergence. Le nicol constitue, comme la tourmaline, une sorte de crible (fig. 90) ne permettant le passage qu'aux rayons vibrant dans une direction parallèle au plan principal.

L'avantage du nicol est de ne pas altérer la couleur des rayons transmis.

Miroir de verre noir. — Un rayon de lumière naturelle tombant sous un angle d'incidence convenable donne un rayon réfléchi totalement polarisé. Son domaine vibratoire est normal au plan passant par le rayon incident et la ligne de plus grande pente de la surface réfléchissante. Le verre doit être noir pour éviter la sortie des rayons réfléchis intérieurement sur la seconde face.

Polariseurs et analyseurs. — Les appareils simples que nous venons de décrire peuvent servir à deux usages bien distincts. En premier lieu, ils permettront d'obtenir un rayon polarisé dont les vibrations s'effectuent dans un plan déterminé. Ils fonctionnent alors comme *polariseurs*. En second lieu, on les emploie à l'examen de l'état de polarisation d'un rayon donné. Il

suffit pour cela de disposer l'instrument sur le trajet du rayon, puis de le faire tourner autour de son axe dans tous les azimuths.

Supposons qu'il s'agisse d'un nicol ou d'une tourmaline agissant par réfraction.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

1° L'intensité transmise à l'œil est invariable pour toute orientation du nicol ou de la tourmaline. Le rayon a les mêmes propriétés dans tous les azimuths; il est constitué par de la lumière *naturelle.*

2° L'intensité varie suivant l'azimuth considéré; elle est nulle pour une position déterminée du plan principal, maximum pour la position rectangulaire. Le faisceau incident est alors totalement polarisé.

3° L'intensité, tout en variant, présente un minimum non nul; le faisceau incident peut alors être considéré comme composé de rayons polarisés et de rayons naturels.

Dans tous ces cas, les appareils fonctionnent comme *analyseurs.*

Combinaison d'un polariseur et d'un analyseur. — Nous supposerons que ce sont deux nicols.

L'intensité du rayon émergeant de l'analyseur et allant rencontrer l'œil dépend de leur orientation relative.

Supposons un faisceau de lumière naturelle tombant sur le polariseur. Celui-ci, agissant comme un crible, ne laisse passer que des rayons de domaine parallèle à sa section principale.

1° Si celle-ci coïncide avec celle de l'analyseur, les mailles rectilignes des deux cribles sont parallèles, et le domaine vibratoire de chaque rayon traversera l'analyseur sans altération.

2° Les sections principales des deux nicols sont perpendiculaires; on dit alors que les *nicols* sont *croisés.* Dans ce cas, l'intensité transmise à l'œil est nulle, et rien ne passe. En effet, toutes les radiations émergeant du premier crible sont totalement arrêtées par le second, dont les mailles sont à angle droit.

3° L'analyseur et le polariseur font un angle quelconque.

Du polariseur émerge un domaine plan, qui, en tombant sur l'analyseur, se dédouble en deux autres rectangulaires dont le domaine est déterminé par la règle du parallélogramme. Or, des deux, un seul est transmis intégralement, celui qui est parallèle aux mailles du crible analyseur; l'autre est rejeté. Le domaine émergeant du système varie donc avec l'angle des deux nicols de zéro au domaine émis par le polariseur.

Interposition d'une lame anisotrope à faces parallèles entre deux nicols croisés.

Le résultat dépend de l'orientation de la lame dans son plan. Plusieurs cas sont à considérer.

1° Les sections principales de la lame (les bras de la croix des trous du crible) sont respectivement parallèles aux sections principales (allongement des mailles du crible) de l'analyseur et du polariseur. Pour cette orientation de la lame, tout domaine émis par le polariseur la traversera sans modification aucune, mais, tombant perpendiculairement aux mailles de l'analyseur, il sera totalement arrêté. L'œil ne percevra par suite aucune lumière émergente.

Donc pour chaque lame anisotrope interposée entre un analyseur et un polariseur croisés, c'est-à-dire à angle droit, et cela quelle que puisse être son épaisseur, il existera deux orientations rectangulaires amenant l'obscurité complète. Ces deux directions sont dites : *directions d'extinction de la lame.*

2° La lame anisotrope interposée est orientée d'une manière quelconque dans son plan. — Tout domaine plan émergent du polariseur se décompose, à son arrivée à la surface de la lame, en deux autres généralement de domaines inégaux, c'est-à-dire d'intensités inégales, et rectangulaires entre eux. En outre, comme on le sait, ils se propagent dans le milieu anisotrope avec deux vitesses différentes. Ils arrivent donc à l'analyseur avec une certaine différence de *phase* dépendant de l'épaisseur traversée. En pénétrant dans celui-ci, *chacun d'eux* se décomposera de nouveau en deux autres dont l'un traverse les mailles du crible analyseur, tandis que le second est éliminé. Il y a donc dans la section principale de l'analyseur superposition de deux rayons possédant une différence de phase et ayant même vitesse de propagation, puisqu'ils vibrent dans cette section comme ils le feraient dans un milieu isotrope.

Fig. 93.

Pour qu'ils puissent *interférer,* il faut qu'ils aient des domaines égaux, ce qui est facile à démontrer. On y arrive en appliquant deux fois la règle du parallélogramme (fig. 93).

Soit OA le demi-domaine émergeant du polariseur, OX et OY les directions d'extinction de la lame anisotrope (directions des bras des croix du crible); Ol_1 et Ol_2 sont les demi-domaines rectangulaires correspondants. Si OB est la section principale (direction des mailles rectilignes du crible) de l'analyseur, Ob_1 et Ob_2 sont les largeurs des domaines relatifs aux deux rayons composants transmis par la maille de l'analyseur OB. Il est facile de voir que $Ob_1 = Ob_2$. Cela résulte de l'égalité des deux triangles b_2Ol_2 et $Al_1\alpha$.

Dans l'analyseur viennent donc se *superposer* deux rayons de *même domaine,* c'est-à-dire de même intensité, possédant une différence de phase et par suite susceptibles d'interférer. (Voir p. 31.)

Remarque. — Dans le cas où la différence de phase résultant de la traversée de la lame est de une, ou plus généralement d'un nombre entier de longueurs d'onde, la figure montre que les deux déplacements ob_1 et ob_2 provenant d'un déplacement OA sont de sens contraire et que, par suite, pour de telles différences de phases, il y a *interférence à phases opposées* en *nicols croisés.*

Influence de l'épaisseur de la lame anisotrope. — 1° Si cette épaisseur est telle que la différence de phase des rayons superposés dans l'*analyseur* soit d'une demi, ou plus généralement d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde, le rayon issu du polariseur est totalement *éteint.* D'après la remarque précédente, ce résultat correspond à une différence d'une longueur d'onde entière ou d'un multiple acquise par les deux rayons de domaines rectangulaires à l'*intérieur de la lame* anisotrope.

Or, nous avons supposé l'orientation de cette lame quelconque. Chaque rayon faisant partie d'un faisceau parallèle donnera le même résultat, et nous arriverons à cette conclusion importante :

Pour *une certaine épaisseur et ses multiples entiers,* une lame anisotrope à faces parallèles découpée dans un cristal suivant une direction bien déterminée, reste en lumière monochromatique *constamment obscure* entre deux nicols croisés, *quelle que soit son orientation.*

2° Si l'épaisseur de la lame introduit entre les deux rayons superposés dans le plan de vibration de l'analyseur une différence de phase autre qu'un nombre impair de demi-longueurs d'onde, tout domaine traversant l'analyseur peut varier du domaine nul au domaine transmis par le polariseur, et cela suivant l'orientation de la lame dans son plan.

Le domaine nul (intensité nulle) correspond aux deux directions d'extinction, le domaine (intensité) maximum aux positions situées à 45° de celle-ci.

Coloration d'une lame anisotrope en lumière blanche. — Jusqu'à présent, nous n'avons considéré qu'un rayon ou un faisceau de rayons parallèles de couleur déterminée. Voyons quel sera le résultat obtenu avec un faisceau de lumière blanche. Nous savons que celui-ci résulte de la superposition de radiations de toutes couleurs. Elles ont des *longueurs d'onde* différentes.

Supposons une lame anisotrope d'*épaisseur* telle qu'elle amène l'extinction d'un rayon de *couleur déterminée,* elle laissera passer les autres plus ou moins affaiblis. Il en résultera un ensemble coloré complémentaire de la partie absorbée, puisque celle-ci restituée donnerait du blanc.

En faisant tourner la lame, l'intensité des diverses radiations sera altérée *dans le même rapport,* et la teinte ne variera que d'intensité entre l'extinction totale pour deux positions rectangulaires et deux maxima situées à 45°.

Toutefois, on n'obtiendra ce résultat que dans le cas où les directions d'extinction de la lame sont les mêmes pour toutes les couleurs. Mais on verra plus tard qu'il n'en est pas toujours ainsi et que pour les cristaux dits *biaxes* l'extinction ne saurait être complète.

Influence de l'épaisseur de la lame sur la teinte obtenue. — La lame ne doit pas être trop mince, car alors il ne se produit qu'une différence de marche trop petite pour amener l'extinction de la première radiation, son influence est trop faible, et les divers rayons ne sont pas sensiblement modifiés. L'obscurité persiste à peu près.

La lame ne doit pas non plus être trop épaisse, car il se peut qu'un nombre trop considérable de rayons s'éteignent ou s'affaiblissent à la fois, et on obtient une lumière grisâtre que l'on appelle *blanc d'ordre supérieur.*

Il se peut, par exemple, qu'une épaisseur donnée corresponde à des différences de phase de 41, 37, 33 demi-longueurs d'onde pour le violet, le bleu et le vert. Toutes ces couleurs disparaissent à la fois.

A mesure que l'épaisseur augmente à partir de zéro, toutes les couleurs s'éteignent successivement; on obtient ainsi une série de teintes dites du premier ordre. A partir de ce moment, on a les teintes du second, puis du troisième ordre, etc. Leur ensemble constitue l'échelle de Newton.

Ce sont, dans l'ordre des épaisseurs croissantes :

1er ordre. — Noir, gris-de-fer, gris-de-lavande, gris-bleu, gris-bleu clair, gris plus clair, blanc verdâtre, blanc presque pur, blanc jaunâtre, jaune-paille, jaune clair, jaune brillant, jaune-orangé, orangé rougeâtre, rouge chaud, rouge plus foncé.

2e ordre. — Pourpre, violet, indigo, bleu, bleu verdâtre, vert, vert plus clair, vert jaunâtre, jaune verdâtre, jaune pur, orangé, orangé-rouge vif, rouge violacé foncé.

3e ordre. — Violet bleu clair, indigo, etc.

Influence de la nature spécifique de la lame. — Suivant la nature du minéral dans lequel a été découpée la lame, la différence de marche des deux rayons de même couleur varie selon la différence de valeur des deux indices. Il en résulte que l'extinction d'une couleur pour deux lames taillées dans la même direction dans deux minéraux différents correspond à deux épaisseurs différentes. On voit de suite, sans qu'il soit besoin d'insister davantage, quel parti on pourra tirer de ce fait dans la détermination de minéraux engagés les uns dans les autres, sans forme extérieure reconnaissable. Tel est le cas des éléments des roches. En amenant, au moins théoriquement, ces mélanges à une épaisseur déterminée, l'égalité de teinte désignera l'orientation identique d'une série d'éléments de même nature. Si cette orientation diffère, à l'aide de tables dressées à l'avance des colorations correspondant à chacun d'eux on pourra aisément les reconnaître dans la plupart des cas.

Influence de l'orientation de la taille de lame. — La différence de marche des rayons superposés dans l'analyseur dépend essentiellement de cette orientation dans le cas des corps cristallisés autrement que dans le système cubique. Il existe, en effet, une direction pour laquelle la différence de marche est maxima, et une ou deux, suivant que le corps est *uniaxe* ou *biaxe,* pour lesquelles la différence de marche est constamment nulle; ces directions sont isotropes. Une orientation quelconque donne un résultat intermédiaire.

RELATIONS DE LA SYMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE ET DE LA SYMÉTRIE OPTIQUE DANS LES CRISTAUX

Un cristal, ou plus généralement un milieu cristallin qui peut être envisagé en réalité comme une portion de cristal dont on aurait mécaniquement supprimé les faces naturelles, possède des propriétés physiques identiques dans une direction rectiligne bien déterminée, parallèle, par exemple, à l'intersection des faces d'un certain prisme. Ceci revient à dire que si, par divers points choisis arbitrairement dans le milieu, on mène des droites parallèles, elles jouiront de propriétés physiques identiques. Si ce sont, par exemple, des directions de rayons lumineux, ceux-ci auront même vitesse et même état de polarisation.

Si la direction commune vient à changer, il en sera de même de la propriété physique envisagée. Cette variation sera en général continue, c'est-à-dire susceptible de devenir aussi petite que l'on voudra, par un déplacement infiniment petit de la direction.

Mais, d'autre part, parmi toutes les directions en nombre infini que l'on peut imaginer autour d'un point, il y a toujours identité pour un certain nombre d'entre elles. Leur répartition dans l'espace dépend non des caprices du hasard, mais d'une certaine *symétrie* inhérente à la constitution intime du milieu.

La différence essentielle entre la symétrie géométrique et la symétrie physique consiste en ce fait que la première repose sur le principe de discontinuité de la matière, et la seconde sur la continuité des phénomènes physiques. La première sera représentée par un faisceau de droites, la seconde par les différents vecteurs d'une surface centrée.

L'observation a établi l'existence de certaines relations étroites entre le faisceau de symétrie cristallographique et les éléments de la surface relative aux propriétés physiques en général et aux propriétés optiques en particulier.

Ellipsoïde. — L'application directe du principe de continuité à une propriété physique quelconque considérée dans toutes les directions autour d'un point, a conduit Mallard à représenter son intensité suivant chacune d'elles par une longueur qui la symbolise. L'extrémité de tous ces vecteurs est située à la surface d'un *ellipsoïde* dont la symétrie représente par suite celle du phénomène. A des valeurs identiques correspondent des vecteurs égaux. Rappelons quelques propriétés essentielles de l'ellipsoïde.

On appelle *ellipse* (fig. 94) une courbe telle que la somme des distances de chacun de ses points à deux points fixes FF′ appelés *foyers* est constante. Le milieu de la distance qui sépare les deux foyers est son centre. C'est un point tel que toute droite qui y passe et que l'on nomme *diamètre* est divisée par la courbe en deux parties égales. Cette courbe possède deux axes de symétrie binaire AA′, BB′; l'un est le diamètre passant par les foyers, l'autre le diamètre perpendiculaire; on les nomme *axes* de l'ellipse. L'axe focal est le plus grand des deux.

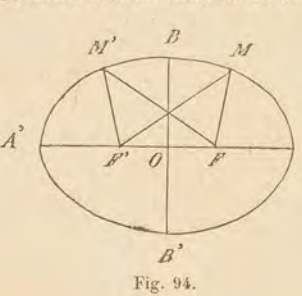


Fig. 94.

Si les foyers d'une ellipse viennent à se rapprocher jusqu'à se confondre, on obtient un cercle dont *tout rayon* est un axe de symétrie binaire. Il possède donc une infinité d'*axes binaires*.

Cela étant :

On appelle *ellipsoïde* (fig. 95) une surface fermée possédant *un centre* et telle qu'elle soit coupée par un plan quelconque suivant une ellipse. Cette ellipse peut, pour certaines directions planes, se réduire à un cercle.

Parmi tous les diamètres issus du centre il y en a un plus grand que tous les autres et seul de son espèce, qu'on appelle *grand axe*, un plus petit que tous les autres, que l'on appelle *petit axe* et qui est perpendiculaire au premier. On en distingue enfin un troisième *de longueur intermédiaire* et perpendiculaire au plan des deux autres : c'est l'*axe moyen*.

Les trois plans rectangulaires passant par chacun des axes pris deux à deux s'appellent *plans principaux* de l'ellipsoïde; ce sont trois *plans de symétrie binaire*.

L'ellipsoïde détermine sur toutes les droites parallèles à une direction donnée et qui le coupent, des segments dont les milieux sont situés dans un même plan passant par le centre et dit *plan diamétral conjugué*.

Par l'axe *moyen* BO faisons passer un plan mobile contenant à l'origine le grand axe, celui-ci sera en même temps le grand axe de la section. Faisons ensuite tourner le plan autour de l'*axe moyen;* le grand axe de l'ellipse ira en diminuant graduellement jusqu'à venir se confondre avec le plus petit axe de l'ellipsoïde. Mais, à coup sûr, il aura atteint à un certain moment une position intermédiaire pour laquelle sa longueur a été celle de l'axe moyen (fig. 95). L'ellipse correspondante a donc deux diamètres rectangulaires égaux. C'est un *cercle*. On démontre que les sections d'un ellipsoïde par des plans parallèles donnent des courbes semblables. Il en résulte que toutes les sections parallèles à la section circulaire ainsi obtenue seront des cercles. On les désigne sous le nom de *sections cycliques*.

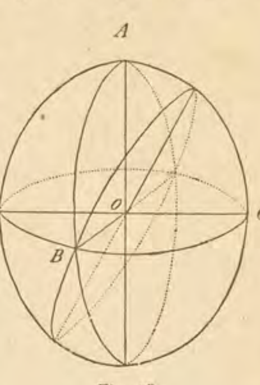


Fig. 95.

Il y a deux directions planes semblables correspondant à deux positions du plan mobile situées de part et d'autre du grand axe. Leur existence est d'une importance capitale dans l'étude des phénomènes d'optique cristalline. Les normales à ces plans passant par le centre sont dites *axes optiques*. Leur angle, qui est en même temps l'angle des plans cycliques, est dit l'*angle des axes optiques*. Cet angle et son supplément ont pour bissectrices le plus grand et le plus petit axe de l'ellipsoïde. Celui qui est situé dans l'angle aigu est dit *bissectrice aiguë*, l'autre *normale optique*. Le rôle de bissectrice aiguë peut échoir indifféremment à chacun d'eux. Ces deux lignes sont des axes de *symétrie binaire* pour les figures d'interférence dont il sera question dans la suite.

Cas particuliers. 1° *Ellipsoïdes de révolution* (fig. 102). — Supposons que dans un ellipsoïde, le grand axe et le petit axe restant invariables, l'axe moyen s'accroisse de manière à égaler le grand axe. La section principale correspondante deviendra un cercle ayant pour rayon le plus grand axe. Les sections parallèles étant des cercles, la surface devient de révolution autour du petit axe; on a obtenu un *ellipsoïde aplati*.

Inversement, si l'axe moyen diminue jusqu'à la dimension du petit axe, la section normale au grand axe devient un cercle, ainsi que toutes les sections obtenues par des plans parallèles, la surface est de révolution autour du grand axe, et on a un *ellipsoïde renflé*.

L'ellipsoïde de révolution possède donc un seul axe principal et une infinité d'axes binaires passant par son centre dans un plan perpendiculaire.

Il n'y a plus qu'une seule direction de plans cycliques, celle qui est normale à l'axe. Mais on peut la considérer comme résultant de la superposition de deux directions de plans cycliques qui sont venus se confondre; tandis que les deux axes optiques se sont réunis en un seul.

2° *Sphère*. — Si les trois axes de l'ellipsoïde deviennent égaux, les trois sections principales ont chacune deux diamètres rectangulaires égaux; ce sont des cercles. L'ellipsoïde se réduit à une sphère. Tout diamètre est alors axe de symétrie.

Ellipsoïde optique dit **Ellipsoïde des indices** ou **Ellipsoïde inverse.** — Imaginons un point pris à l'inté-

rieur d'un cristal, et en ce point une particule d'éther susceptible de vibrer dans une direction quelconque, mais bien déterminée, sous l'action d'un rayon lumineux. De part et d'autre du point, prenons-en deux autres situés sur la direction considérée à des distances proportionnelles à l'indice du rayon.

Si l'on fait varier la direction dans tous les sens, les points construits se déplacent sur une surface centrée qui est un *ellipsoïde.*

Il jouit de la propriété suivante : tout rayon vecteur représente l'indice du rayon dont les particules vibrent dans sa direction, par suite il représente l'inverse de la vitesse de propagation du rayon dans le cristal, si l'on prend comme unité sa vitesse dans l'air. A un plus grand vecteur correspond une plus petite vitesse.

En outre, tout rayon dont les particules vibrent suivant la direction de l'un des axes principaux (le plus grand, le moyen ou le plus petit) de l'ellipsoïde, se propage sans altération. On appelle les trois indices correspondants *indices principaux.*

Cet ellipsoïde représente complètement la *symétrie optique* du cristal considéré relativement à la radiation simple (de longueur d'onde donnée) employée.

Propriétés optiques d'un milieu cristallin d'ellipsoïde déterminé. — Dans le cas général, il existe autant d'ellipsoïdes différents que de couleurs différentes. Il y aura des ellipsoïdes violets, indigo, etc., correspondant à chaque longueur d'onde lumineuse. Mais dans la plupart des cas ils auront des éléments communs et différeront en général peu les uns des autres.

Supposons donc un rayon de longueur d'onde (couleur) déterminée et un milieu cristallin. Pour savoir ce que devient le rayon en un point, construisons autour de ce point l'ellipsoïde symbolisant sa symétrie optique. Tout dépendra de la nature de la section par un plan passant par le centre et normal à la direction du rayon OR (fig. 96). Nous savons que c'est le plan de vibration de la particule lumineuse située au point considéré[1]. En vertu de l'incompressibilité de l'éther, elle devra rester dans ce plan et y vibrer suivant un certain azimuth. Deux cas à considérer :

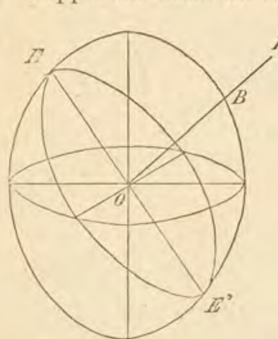


Fig. 96.

1° Cette section est un cercle, et alors il y a symétrie dans tous les azimuths autour d'elle, la vibration se transmettra telle quelle sans aucune altération dans le milieu. Si le rayon est naturel, il restera tel; s'il est polarisé, il conservera son plan de vibration;

2° La section est une ellipse : dans ce cas, la vibration *se décompose en deux autres* vibrant dans des plans rectangulaires passant par les deux axes de l'ellipse de section. Leur vitesse de propagation est inégale, car elles sont respectivement inversement proportionnelles à la longueur de l'axe correspondant. Le rayon subit donc la double réfraction. La différence de vitesse existant entre eux sera d'autant plus considérable que les deux axes de l'ellipse de section différeront de longueur, par suite ils seront d'autant plus écartés.

1. A la rigueur, il n'en est pas tout à fait ainsi, et la particule vibre non pas dans le plan normal à la direction du rayon, mais dans le plan diamétral conjugué. Mais, dans la pratique, les ellipsoïdes optiques diffèrent très peu d'une sphère pour laquelle le plan diamétral conjugué à une direction quelconque lui est perpendiculaire.

Nature et orientation des ellipsoïdes dans les différents systèmes cristallins. — On a constaté les lois suivantes, qui, établies pour les formes holoèdres, persistent pour les hémièdres, malgré la disparition d'éléments de symétrie *déficients.*

Première loi. — Tout axe de symétrie de la forme principale coïncide avec un axe de symétrie de l'ellipsoïde.

Deuxième loi. — Tout *axe principal* de la forme primitive coïncide avec l'axe d'un *ellipsoïde de révolution.*

Troisième loi. — Tout plan de symétrie de la forme primitive coïncide avec un plan de symétrie de l'ellipsoïde.

Ces lois, appliquées aux différents systèmes cristallins, donnent les résultats suivants :

I. **Système cubique.** — Les trois axes quaternaires identiques coïncident avec trois axes de révolution de l'ellipsoïde ; c'est donc une sphère dont toutes les directions sont équivalentes, puisque tous les diamètres sont égaux. Le cristal est *isotrope.*

II. **Système hexagonal.** — L'axe sénaire coïncide avec l'axe de révolution de l'ellipsoïde. Les sections normales à l'axe de celui-ci sont des cercles, donc cet axe est une direction d'*uniréfringence.* Le cristal est *uniaxe.*

III. **Système quadratique.** — L'axe quaternaire est un axe de révolution de l'ellipsoïde. Les sections normales à cet axe sont des cercles, donc cet axe est une direction d'uniréfringence. Le cristal est *uniaxe.*

IV. **Système rhomboédrique.** — L'axe ternaire est un axe de révolution de l'ellipsoïde. Les sections normales sont des cercles, donc cet axe est une direction d'uniréfringence. Le cristal est *uniaxe.*

V. **Système orthorhombique.** — Les trois axes binaires coïncident en direction avec les trois axes de l'ellipsoïde, mais rien ne fait prévoir à priori la situation des différents axes. L'ellipsoïde peut avoir six positions différentes. Les normales aux directions cycliques, c'est-à-dire les axes optiques, peuvent se trouver dans un quelconque des trois plans de symétrie et leur plan peut être parallèle à la base, au macropinacoïde ou au brachypinacoïde. Le cristal est *biaxe.*

VI. **Système clinorhombique.** — Tout ellipsoïde est simplement assujetti à avoir un de ses axes en coïncidence avec l'axe binaire unique de la forme primitive. Cette situation peut échoir à l'un quelconque d'entre eux, les deux autres étant d'ailleurs situés dans le plan de symétrie et y présentant une orientation quelconque. Le cristal est *biaxe.*

VII. **Système triclinique.** — Comme il n'y a plus ni axes ni plans de symétrie, la position des ellipsoïdes est quelconque. Le cristal est *biaxe.*

PHÉNOMÈNES OPTIQUES PRÉSENTÉS PAR UNE LAME A FACES PARALLÈLES EN LUMIÈRE MONOCHROMATIQUE PARALLÈLE

Nous sommes maintenant en possession des éléments nécessaires à l'exposition des phénomènes optiques présentés par une lame minérale à faces parallèles placée entre deux *nicols croisés* et éclairée par un faisceau de rayons monochromatiques parallèles tombant perpendiculairement à la face d'entrée.

Il peut se présenter deux cas :

1° En faisant tourner la lame sur elle-même, pour toute orientation, le faisceau transmis par le polariseur à l'œil conserve la même intensité et la même coloration. La lame est *isotrope,* et la normale à ses faces est une direction d'*uniréfringence :* c'est qu'alors la taille a été pratiquée soit dans un sens *quelconque* d'un cristal *cubique,* soit normalement à l'axe principal (qui se confond avec l'axe optique d'uniréfringence) d'un cristal hexagonal, quadratique ou rhomboédrique, soit enfin normalement à l'un des deux axes optiques, et par suite parallèlement à l'une des sections cycliques d'un cristal appartenant aux trois autres systèmes.

2° Pendant la rotation de la lame on observera des variations d'intensité. Elle *s'éteindra* quatre fois pour des directions rectangulaires dites *positions d'extinction,* qui coïncident avec les axes de l'ellipse que découpe sa surface dans l'ellipsoïde optique du cristal supposé tracé autour du point d'incidence. L'éclairement varie d'une façon continue entre deux extinctions et passe par un maximum pour les positions situées à 45°. Ce maximum varie, comme on l'a vu, avec l'épaisseur de la plaque en lumière monochromatique et peut être nul pour certaines épaisseurs sous lesquelles elle reste complètement obscure.

Lumière blanche. — Il y aura superposition des diverses radiations colorées, chacune d'elles possédant l'intensité correspondant au rapport de sa longueur d'onde à l'épaisseur de la lame. Celle-ci présentera une couleur uniforme dépendant uniquement de sa nature et de son épaisseur. La teinte fera partie de l'échelle de Newton. (Voir *supra.*)

Ceci toutefois n'est rigoureusement exact que pour les lames uniaxes et orthorhombiques pour lesquelles les directions d'extinction sont les mêmes pour chaque couleur prise individuellement. Dans les lames appartenant aux deux derniers systèmes, clinorhombique et triclinique, il y aura une légère variation dans la teinte, et les extinctions manqueront de netteté. Ceci tient à ce que les ellipsoïdes relatifs à chaque couleur n'ont pas exactement même direction d'axes, et l'extinction ne sera complète que dans des cas particuliers.

PHÉNOMÈNES D'INTERFÉRENCE EN LUMIÈRE CONVERGENTE

Jusqu'ici il n'a été question que des transformations subies par des faisceaux de rayons parallèles dans leur transmission à travers des milieux cristallins.

Les faisceaux divergents et convergents émis par chaque point d'une surface lumineuse donnent lieu à des phénomènes de même ordre, mais d'aspects tout à fait différents.

Aux variations d'intensité et de coloration viennent se joindre des considérations de figures géométriques dites *figures d'interférence,* sorte de dessins produits dans le plan focal d'un instrument spécial, le microscope polarisant. Ces figures sont intimement liées à la structure du minéral et manifestent aux yeux sa symétrie optique.

Elles tirent leur origine de la différence de phase variable des rayons doubles émis par une surface traversée par des radiations divergentes.

Dans le cas des *rayons parallèles,* le chemin parcouru à l'intérieur de la lame est *le même pour tous,* et *tous* les rayons doubles ont *même différence de phase.* Il n'en est pas de même pour les rayons d'un faisceau convergent ou divergent. Ils traversent la lame sous des épaisseurs qui augmentent graduellement avec l'obliquité, par suite les différences de phase acquises par chaque rayon double augmentent dans la même proportion.

Les figures d'interférence varient suivant que l'on a affaire à des cristaux *uniaxes* ou biaxes.

Avant de donner la description de ces phénomènes optiques particuliers, nous avons à exposer sommairement la disposition et la théorie de l'instrument qui sert à les observer.

Microscope polarisant. — Cet appareil est employé à l'observation des phénomènes d'interférence en lumière convergente (fig. 97). Il se compose essentiellement :

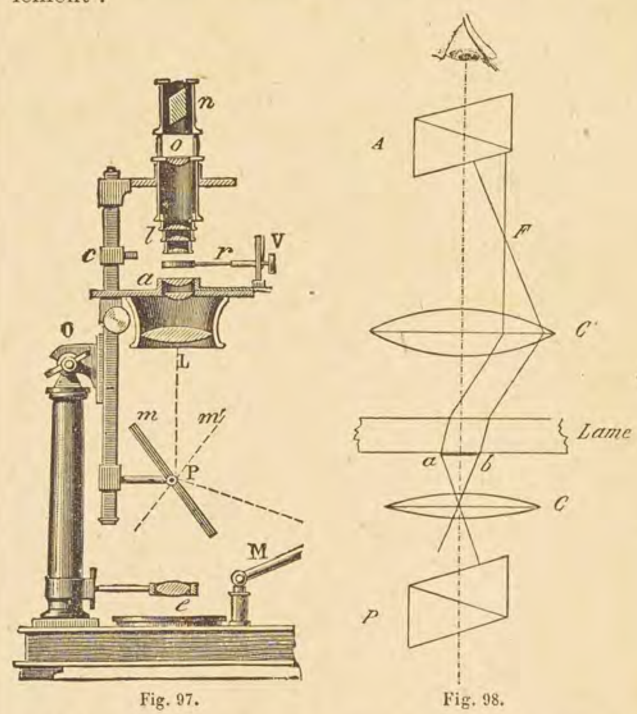


Fig. 97. Fig. 98.

1° D'un *polariseur p* (fig. 98), miroir ou nicol émettant des rayons parallèles polarisés dans un azimuth donné.

2° D'un système de lentilles convergentes C appelé *condensateur,* transformant ce faisceau parallèle en faisceau convergent.

3° D'une *plate-forme* évidée sur laquelle on dispose la lame soumise à l'examen.

4° D'un *collecteur* C', système de lentilles convergent servant à réunir en un même point du plan focal tous les rayons parallèles à une même direction.

5° D'un *analyseur* A, ordinairement un nicol.

Théorie élémentaire de l'instrument. — Les rayons émis par le condensateur fournissent à son foyer une petite *surface* lumineuse *ab* coïncidant à peu près avec la surface inférieure de la lame et fonctionnant comme objet lumineux (fig. 98). Chacun des points de cette surface émet dans tous les sens des rayons. On peut parmi eux considérer ceux qui, partant de chaque point, ont même direction. A l'émergence ils fournissent un faisceau parallèle de rayons doubles. En tombant sur le *collecteur* C', ces rayons parallèles vont converger suivant les lois de l'optique élémentaire en un point F de la surface focale. Tous les faisceaux de rayons paral-

lèles également inclinés sur l'axe optique de l'instrument subiront la même modification géométrique. Par suite, les points focaux seront distribués sur un cercle et donneront une image annulaire. Leur éclairement sera le même, mais chacun d'eux pourra présenter une différence de phase particulière. Il résultera de l'ensemble de ces zones annulaires une image que l'on regardera à travers l'analyseur qui, lui, permettra d'apprécier les interférences des divers rayons doubles.

Fig. 99.

Tourmalines croisées. — Cet appareil plus simple se compose de deux tourmalines vertes taillées parallèlement à l'axe (fig. 99). Elles sont fixées à deux bouchons appliqués l'un contre l'autre. On place entre elles la lame à examiner, puis on applique l'œil contre l'une d'elles, l'appareil étant dirigé vers la lumière des nuées. Les rayons reçus par l'œil à travers ce système sont convergents et donnent des figures d'interférence qui ont le défaut d'être colorées par suite de l'absorption des couleurs complémentaires du vert.

Transformation du microscope ordinaire en microscope polarisant. — Sous la platine on installe un tube contenant un nicol destiné à polariser les rayons émanant de la glace inférieure. Au-dessus de l'oculaire on dépose une bonnette contenant un nicol analyseur. Pour observer une lumière parallèle, on dépose simplement la plaque sur la platine. Pour observer une lumière convergente, on visse à la partie supérieure du tube contenant le polariseur un système de lentilles très convergent et formant condensateur. L'oculaire fonctionne comme collecteur.

Il y a deux manières d'observer les figures d'interférence. La première consiste à enlever l'oculaire et à regarder directement la figure aérienne formée dans le plan focal du collecteur; la seconde, à regarder cette image avec une loupe formée par l'oculaire. Si la platine de l'instrument n'est pas susceptible de recevoir un mouvement de rotation des deux nicols, on effectue celui-ci à la main.

Il va sans dire que pour opérer en nicols croisés on doit mettre chaque fois l'analyseur à l'extinction avant d'observer. Ce réglage se fait à la main.

CRISTAUX UNIAXES

On examine toujours une lame à faces parallèles normale à l'axe optique, qui se confond, comme on sait, avec l'axe cristallographique du système.

Fig. 100.

Imaginons donc une telle lame entre deux nicols croisés et un point lumineux O (fig. 100) situé à sa surface inférieure émettant des rayons dans toutes les directions. Examinons ce qui se passe pour ceux qui sont situés dans un plan contenant l'axe et que nous supposerons ne coïncider avec aucune des sections principales des deux nicols. Prenons ce plan pour plan du tableau.

Le rayon OA normal à la plaque suit une direction d'uniréfringence; il est donc éteint par l'analyseur; il en sera de même de tous les rayons parallèles émis par les divers points O, O′, etc., de la surface-objet. Tous ces rayons convergent au foyer principal du collecteur, et le centre de l'image interférentielle sera obscur.

Soit OB une direction oblique; nous savons que du point B émergera un rayon double dont la différence de phase croîtra avec l'épaisseur traversée OB, qui augmente avec l'obliquité. La différence de phase des rayons doubles émergents prendra donc, à partir de zéro, des valeurs croissantes en passant par des nombres entiers successifs 0, 1, 2... n de longueur d'onde. Ces rayons s'éteindront à leur passage dans l'analyseur comme on l'a vu. Par suite, dans un azimuth donné il y aura un nombre indéfini d'extinctions successives. Elles seront d'ailleurs séparées par des points d'intensité maxima correspondant aux différences de phase des nombres impairs de demi-longueur d'onde. A un rayon double d'obliquité quelconque correspondra une intensité intermédiaire.

Les différents points lumineux o, o', etc., donneront des rayons de même obliquité, de même différence de phase, tous parallèles, qui iront converger en un point du plan focal du collecteur suivant les lois de l'optique élémentaire.

En faisant maintenant tourner la lame, ce point décrira dans le plan focal un *cercle.*

L'intensité lumineuse reçue par l'œil de tous les points de ce cercle serait uniforme si celle d'un rayon double d'inclinaison donnée était la même dans tous les azimuths. Il n'en est point ainsi. On sait, en effet, que cette intensité varie suivant les angles que font les domaines du rayon double avec la direction de la maille rectiligne du *crible* analyseur, et, suivant l'azimuth considéré, ces angles peuvent varier de 0° à 90°.

Pour le démontrer (fig. 101), représentons le cercle dessiné dans le plan focal du collecteur par l'extrémité des rayons parallèles issus de la lame sous une même obliquité, AA′ étant la direction commune des mailles de l'analyseur, PP′ celle des mailles du polariseur. Les directions planes des domaines vibratoires du rayon double émergeant en B sont celles de la croix pleine

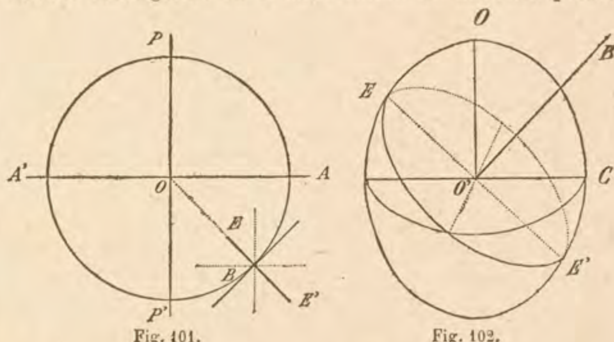


Fig. 101. Fig. 102.

tracée en ce point. Je dis que l'une d'elles est toujours dirigée dans l'azimuth OB, et que l'autre lui est perpendiculaire. En effet, elles sont parallèles aux deux diamètres de l'ellipse découpée dans l'ellipsoïde de révolution par le plan perpendiculaire à la direction de propagation du rayon, et on voit sur la figure 102 que le point d'émergence B, l'extrémité O de l'axe de révolution et le point E sont dans un même plan.

Par suite (fig. 101), il ne peut y avoir extinction que

lorsque le point B se confondra avec l'un des points A, p, A', p'.

Figure d'interférence des uniaxes. — Il résulte de ces considérations que l'image formée dans le plan focal du collecteur et vue à travers l'analyseur présentera un centre obscur entouré d'une série d'anneaux alternativement clairs et obscurs, le système étant traversé par une croix noire dont les bras sont dirigés suivant les sections principales des nicols (fig. 103_1). Chaque anneau clair présente un maximum d'éclat à 45°, puis la teinte va en se dégradant de part et d'autre, jusqu'à atteindre l'obscurité complète sur les branches de la croix noire.

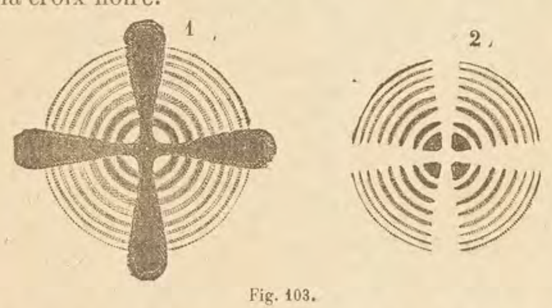


Fig. 103.

Remarque. — Si les nicols, au lieu d'être croisés, étaient parallèles, les conclusions seraient renversées. Dans ce cas, en effet, le centre serait lumineux, le domaine émis par l'analyseur se propageant dans une direction d'uniréfringence passerait sans altération dans la maille parallèle de l'analyseur. Toute partie obscure dans la première hypothèse deviendrait lumineuse dans la seconde. On obtiendrait des anneaux alternativement clairs et obscurs traversés par une croix lumineuse (fig. 103_2).

Influence de l'épaisseur de la lame. — Il est évident que plus l'épaisseur de la lame sera considérable, moins sera grande l'obliquité nécessaire pour obtenir une différence de phase correspondant, par exemple, à un maximum d'intensité. Il en résulte immédiatement que le diamètre des anneaux décroît à mesure que l'épaisseur augmente et qu'ils paraîtront se resserrer.

Influence de la biréfringence de la lame. — Plus elle sera grande, plus la différence d'indices de deux rayons issus d'un même incident sera considérable, et par suite moindre sera l'épaisseur nécessaire à l'obtention d'un système d'anneaux de diamètre donné. En d'autres termes, pour une même épaisseur de lame, les substances les plus biréfringentes donneront les systèmes d'anneaux les plus serrés.

Influence de la couleur du rayon. — Les phénomènes que nous venons de décrire sont relatifs à une lumière monochromatique de couleur déterminée et caractérisée par sa longueur d'onde; plus celle-ci sera considérable, plus l'obliquité nécessaire à un retard donné devra être grande, par suite plus les anneaux seront écartés. Le violet s'éteindra d'abord (1er anneau noir), puis l'indigo, etc., jusqu'au rouge, qui s'éteindra le dernier.

Si donc on emploie successivement les principales couleurs du spectre, en partant du violet, le diamètre du n^e anneau ira en croissant avec l'ordre de la couleur.

Lumière blanche, anneaux isochromatiques. — Nous avons vu pour la lumière parallèle qu'à une épaisseur déterminée traversée par de la lumière blanche correspondait une teinte unique résultant de la superposition d'une infinité de rayons de longueur d'onde différente, dont les uns étaient totalement éteints et dont les autres n'avaient qu'une intensité atténuée. La différence des épaisseurs nous a donné l'échelle de teintes de Newton.

Ici ces teintes se présentent successivement à partir du centre, à mesure que l'obliquité des rayons croît. Nous n'aurons plus d'anneaux obscurs, car pour l'annulation d'une couleur il pourra y avoir renforcement des autres. En outre, les premiers anneaux correspondant aux teintes inférieures de l'échelle auront seuls une coloration bien tranchée. Puis, à mesure que l'on s'éloignera du centre, ils tendront vers un blanc d'ordre supérieur.

Influence de l'épaisseur de la lame. — Si elle est faible, on obtiendra un système d'anneaux bien séparés de couleurs tranchées et d'un grand diamètre, une seule ou un petit nombre de couleurs s'annulant à la fois. Si elle est considérable, on observera une teinte à peu près uniforme d'un blanc d'ordre supérieur; les anneaux seront de moins en moins visibles.

CRISTAUX BIAXES

Les figures d'interférence sont loin d'avoir la même simplicité que celles des cristaux *uniaxes;* cela tient à ce que les axes optiques ne se confondent plus avec l'axe cristallographique.

La théorie de Fresnel développée par Mallard permet de prévoir à priori leur forme générale et leurs particularités, mais elle exige l'emploi des mathématiques supérieures. On peut cependant les rattacher d'une façon simple, sinon rigoureuse, aux phénomènes observés précédemment sur les *uniaxes.*

On ne doit point perdre de vue les propriétés géométriques de l'ellipsoïde énoncées ci-dessus.

Rappelons que les *axes optiques* OA, OA' sont les normales aux plans cycliques (ou sections circulaires) issues du centre (fig. 104). Ces droites sont nécessairement situées dans la section elliptique de la surface contenant le plus *grand* et le plus *petit* axe. Ceux-ci sont les bissectrices des deux angles qu'elles forment entre elles. On aura presque toujours intérêt à considérer l'angle aigu formé par les axes optiques, et l'axe principal de l'ellipsoïde qui divise cet angle en deux parties égales et qui prend alors le nom de *bissectrice aiguë.* Ce rôle peut être dévolu *soit* au plus petit, *soit* au plus grand, comme c'est le cas de la figure où OB est bissectrice aiguë.

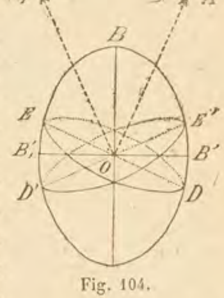


Fig. 104.

Le plan passant par les axes optiques et contenant la bissectrice aiguë est plan de symétrie pour les phénomènes optiques relatifs à l'ellipsoïde considéré, c'est-à-dire correspondant à une *couleur donnée.* Il en est de même pour le plan perpendiculaire passant par l'axe moyen et le grand axe.

Si la surface d'une lame est taillée normalement à la bissectrie aiguë, de part et d'autre de sa trace on trouvera à égale distance celles des axes optiques, et la droite qui les joint est la trace même du *plan des axes optiques.* Les phénomènes lumineux présentés par la

surface de la lame admettent cette droite pour axe de symétrie binaire. En outre, par la trace de la bissectrice aiguë passe la trace du plan perpendiculaire contenant l'axe moyen. Elle sera elle-même un autre axe binaire de symétrie superficielle.

Dans ce qui va suivre nous supposerons une lumière monochromatique, et par suite nous n'aurons à considérer qu'un seul ellipsoïde. Dans le cas de la lumière blanche il y aura lieu d'examiner la superposition des effets produits par des ellipsoïdes différents.

Supposons d'abord que nous ayons affaire à une lame *uniaxe* taillée normalement à l'axe. On verra en lumière convergente un système d'anneaux circulaires traversés de la croix noire. Ici les axes optiques sont confondus avec leur bissectrice aiguë, qui est l'axe principal.

Imaginons maintenant une déformation de l'ellipsoïde optique telle qu'ils s'écartent de l'axe principal dans un certain azimuth. Le centre noir se dédoublera en deux taches marquant la trace des axes optiques, et chacun d'eux sera entouré d'un système d'anneaux qui ne seront plus exactement circulaires. Les anneaux les plus voisins seront séparés. La trace de la bissectrice aiguë correspondra au point de contact de deux cercles déformés dont l'ensemble constitue une espèce de 8, les traces des deux axes optiques seront situées au centre de chaque boucle. Enfin, les cercles de rayon plus considérable seront remplacés par une courbe unique rappelant par sa forme une ellipse aplatie qui tendra vers un cercle pour les anneaux très éloignés. Toutes ces courbes sont définies géométriquement et appartiennent à la famille des lemniscates (fig. 105).

Que deviendra maintenant la croix noire? Elle subira des modifications suivant l'azimuth du plan des axes optiques. En général elle sera remplacée par deux branches d'hyperbole ayant pour asymptotes les traces des sections des nicols sur la lame.

Rappelons d'abord que deux droites rectangulaires sont la limite d'une hyperbole équilatère, admettant le système de droites pour asymptotes, et dont les sommets se sont rapprochés indéfiniment jusqu'à se confondre avec le point de croisement.

Nous nous bornerons à décrire le phénomène dans deux cas, celui où le plan des axes optiques se confond avec la section principale de l'un des nicols (position d'extinction de la lame en lumière parallèle) et celui où ce plan fait avec celle-ci un angle de 45° (position de maximum d'intensité en lumière parallèle).

Nous supposerons dans les deux cas la déformation de l'ellipsoïde de révolution d'une lame primitivement uniaxe.

1° Soit une lame uniaxe normale à l'axe et donnant les anneaux et la croix noire. Cela étant, supposons que nous déformions son ellipsoïde de telle manière que les axes optiques s'écartent de l'axe dans le plan principal d'un des nicols. La croix se modifiera de la façon suivante : la branche perpendiculaire à la trace du plan des axes s'épaissira, la branche dirigée suivant la ligne des axes s'amincira et deviendra linéaire dans leur voisinage.

L'ensemble de la figure, anneaux et croix, sera symétrique par rapport aux traces des sections principales des deux nicols (fig. 105_1).

2° La lame est orientée de telle sorte que le plan des axes fasse avec la section des deux nicols un angle de 45°.

Supposons d'abord la lame uniaxe, elle donne les anneaux et la croix noire. Imaginons ensuite qu'on déforme son ellipsoïde de façon à ce que les deux axes

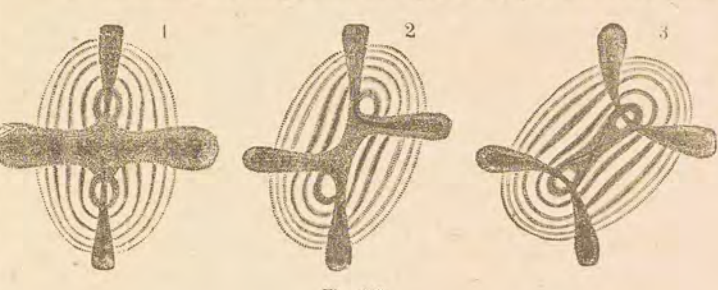


Fig. 105.

optiques se séparent dans le plan bissecteur des sections principales des nicols (fig. 105_3). Les branches de la croix sont remplacées par deux branches d'hyperbole équilatère dont les sommets sont la trace des axes, et les asymptotes les traces des plans des deux nicols sur le plan de la lame.


Fig. 106.

Lame normale à un axe optique. — Elle est nécessairement oblique sur la bissectrice aiguë. On ne verra en général qu'un système d'anneaux symétrique par rapport à la trace du plan des axes et allongé dans le sens de la bissectrice aiguë. On n'aperçoit qu'une branche de la croix, linéaire au voisinage de l'axe (fig. 106).

Figures d'interférence en lumière blanche. — Les résultats sont plus compliqués que pour les lames uniaxes, et il doit bien en être ainsi.

Nous savons, en effet, qu'à chaque couleur de longueur d'onde déterminée correspond un ellipsoïde particulier. Dans le cas des cristaux uniaxes, tous ces ellipsoïdes étaient de révolution et devaient tous par suite posséder le même axe. Il n'en est plus de même, le grand axe de l'ellipsoïde rouge pourra coïncider avec le petit axe de l'ellipsoïde violet, etc. Le mode de répartition des teintes variera donc avec la substance considérée. Leur distribution ou *dispersion* sur la figure d'interférence pourra donner des renseignements importants sur le système cristallin.

Ainsi, pour les cristaux orthorhombiques on a constaté que la *bissectrice aiguë* était la même pour les ellipsoïdes de toute couleur, mais que les axes optiques pouvaient être situés soit sur la trace du même plan, soit sur celle de deux plans perpendiculaires; c'est ce qu'on appelle *dispersion des axes*. Dans ce dernier cas, les axes de l'ellipsoïde rouge sont dans l'un des plans, ceux de l'ellipsoïde violet dans l'autre, et, comme terme de passage, l'ellipsoïde d'une certaine couleur intermédiaire a ses deux axes confondus, le *corps est uniaxe pour cette couleur* particulière. Une conséquence importante c'est que dans ce système la figure d'interférence est toujours symétrique par rapport à deux droites rectangulaires. Ces deux droites sont les traces des plans de symétrie, qui, on le sait, sont les mêmes pour tous ces ellipsoïdes.

Dans le système clinorhombique, la bissectrice aiguë n'est pas la même pour tous les ellipsoïdes colorés. Il peut se présenter trois cas principaux suivant la

longueur relative de l'axe de l'ellipsoïde coïncidant avec l'axe cristallographique binaire.

1° L'axe moyen de l'ellipsoïde coïncide avec l'axe binaire. On a la *dispersion inclinée*. La trace du plan des axes optiques est une ligne de symétrie de la figure, mais les deux systèmes d'anneaux n'ont pas le même développement.

2° Le grand ou le petit axe de l'ellipsoïde coïncide avec l'axe binaire. On a la *dispersion horizontale*. La trace du plan normal au plan des axes optiques est axe de symétrie de la figure d'interférence, et les systèmes d'anneaux de même teinte sont identiques.

3° La bissectrice aiguë de tous les ellipsoïdes coïncide avec l'axe binaire cristallographique, on a la *dispersion croisée*. La figure d'interférence n'est plus symétrique que par rapport à un point, trace de la bissectrice aiguë sur la plaque.

Lames obliques sur l'axe optique. — Surfaces isochromatiques. — Nous n'avons examiné jusqu'à présent les figures d'interférence que dans les lames à faces parallèles d'une orientation déterminée, et pour les cristaux uniaxes et pour les cristaux biaxes. Mais on peut facilement se rendre compte de la forme des systèmes d'anneaux quelle que soit l'orientation de la taille de la lame dans le cristal, par la considération des surfaces isochromatiques de Bertin.

Imaginons un point O pris à l'intérieur d'un milieu cristallin. Il émet, comme on sait, des rayons doubles dans toutes les directions. Ces rayons se composent de deux autres polarisés à angle droit et animés de vitesses différentes.

Sur l'une quelconque des directions passant par O considérons un point. Le rayon double qui y parvient a acquis une certaine différence de marche. Tous les points du milieu qui la présentent sont situés sur une surface dite *surface isochromatique*. Elle jouit de la propriété qu'en chacun de ses points les couples de rayons émanés du point O ont même différence de phase et sont susceptibles de phénomènes d'interférence *identiques* au même instant. A chaque différence de phase déterminée correspond une surface semblable. Toutes ces surfaces sont comme emboîtées les unes dans les autres et ont toutes pour centre le point O.

Supposons que l'une des deux faces d'une lame d'orientation quelconque passe par O, l'intersection de la seconde avec la surface donnera la forme de l'anneau correspondant au retard donné.

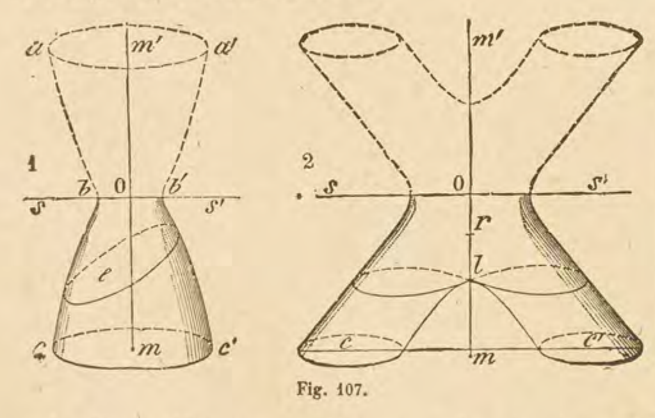


Fig. 107.

La figure 107_1 représente une surface isochromatique d'uniaxe. On voit à sa simple inspection que toute section perpendiculaire à l'axe donne des anneaux circulaires; oblique, des ellipses; parallèle, des sortes d'hyperboles.

La figure 107_2 représente une surface isochromatique de cristal biaxe. Normalement à la bissectrice aiguë *mm'* et suivant l'épaisseur de la lame, les anneaux peuvent être des ellipses pour une longueur située entre O et *l*, une lemniscate proprement dite pour une épaisseur O*l*, enfin une double courbe à allure elliptique pour une épaisseur supérieure.

Parallèlement à *mm'* on obtiendra des figures analogues ou des hyperboles, suivant l'épaisseur.

Signe des cristaux. — Ce caractère est l'un des plus importants pour la détermination d'une espèce minérale.

On range les cristaux *uniaxes* en deux grandes classes, les cristaux *positifs* et les cristaux *négatifs*, suivant que leur ellipsoïde des indices est renflé ou aplati.

Du fait que cet ellipsoïde est de révolution, il résulte une conséquence importante. C'est que, des deux rayons polarisés à angle droit issus d'un rayon d'incidence quelconque, il y en a toujours un qui suit les lois de la réfraction simple et obéit aux lois de Descartes. On l'appelle *rayon ordinaire;* il a un indice invariable et même vitesse de propagation dans tous les sens. On appelle le second *rayon extraordinaire;* son indice et sa vitesse de propagation varient entre un maximum et un minimum, suivant la direction de l'incident.

Nous allons prouver leur existence, en supposant acquises les propriétés de l'ellipsoïde des indices.

Considérons le point d'incidence O d'un rayon lumineux à la surface d'une lame anisotrope d'un cristal positif, par exemple (ellipsoïde de révolution renflé); soit RO la direction du rayon. Pour savoir ce qu'il devient, traçons autour du point O comme centre l'ellipsoïde qui représente la symétrie optique (ellipsoïde des indices). Par O menons le plan perpendiculaire au rayon : c'est celui de la trajectoire rectiligne de la molécule vibratoire. Il coupe l'ellipsoïde suivant une ellipse. La vibration se décompose alors, comme on sait, en deux autres dirigées suivant les deux axes de la section elliptique, dont l'un OA est *toujours un rayon du cercle équatorial* (fig. 108). Le second axe OB lui est perpendiculaire, et sa *longueur* est toujours intermédiaire entre celle des rayons du cercle équatorial OD et celle de l'axe de révolution OL de l'ellipsoïde : *il variera donc continuellement avec l'incidence du rayon*. Mais la longueur de chacun des diamètres de l'ellipse mesure justement les indices de réfraction. Donc le rayon ordinaire possède un indice *constant*, et le rayon extraordinaire un indice variable, mais toujours plus grand que le précédent dans le cas qui nous occupe (ellipsoïde renflé). Soit n_o (OA) l'indice ordinaire, et n_e (OB) l'indice extraordinaire, on a toujours dans notre cas

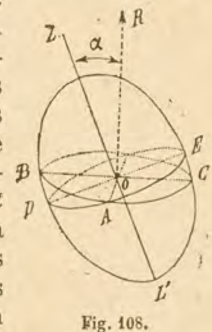


Fig. 108.

$$n_e > n_o$$

ou

$$n_e - n_o > 0 \text{ (positif)}$$

pour un cristal à ellipsoïde renflé.

On sait d'ailleurs que plus l'indice d'un rayon est élevé, plus le rayon réfracté se rapproche de la nor-

male à la surface; donc dans tout cristal à ellipsoïde renflé la direction du rayon extraordinaire est pour ainsi dire *attirée* par l'axe de révolution, d'où encore l'épithète d'*attractif* attribuée à un tel cristal.

Nous raisonnerions absolument de la même manière pour un cristal à *ellipsoïde aplati,* mais, dans ce dernier cas, tout rayon de l'ellipsoïde est de moindre longueur que le rayon du cercle équatorial, et les conclusions seraient renversées. On a toujours dans ce cas

$$n_e < n_o$$

ou

$$n_e - n_o < 0 \text{ (négatif)}.$$

L'indice extraordinaire étant inférieur à l'indice ordinaire, le premier rayon sera *moins dévié* par la réfraction et comme *repoussé* par l'axe de révolution, d'où l'épithète de *répulsif* donné à tout cristal d'ellipsoïde aplati.

On peut constater la différence de nature des deux rayons sur un cristal de clivage de spath d'Islande. Un point noir tracé sur une carte blanche et recouvert d'un rhomboèdre de calcite reposant sur une face donnera deux images si on le considère à travers la face supérieure. Si l'on fait tourner le cristal sur lui-même, l'image ordinaire correspondant à l'indice constant conservera sa position initiale (les deux faces du spath sont parallèles), tandis que l'image extraordinaire correspondant à l'indice variable semblera décrire un cercle autour d'elle.

La détermination du signe d'un cristal est fort importante. On emploie pour cela plusieurs méthodes, mais pour la clarté de leur exposition, nous ferons appel à une conséquence immédiate des faits qui viennent d'être établis. Outre la direction des rayons réfractés, nous aurons à considérer leurs *vitesse de propagation,* qui sont liées à leurs indices.

On a vu précédemment que l'indice de réfraction d'un rayon de couleur donnée d'un premier milieu dans un second était la valeur du rapport des vitesses de propagation du rayon dans les milieux correspondants. Le premier milieu est toujours l'air, dans lequel tous les rayons ont même vitesse; on peut donc la prendre pour unité.

Soit donc v la vitesse de propagation dans un milieu, on a

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{1}{v}.$$

On voit donc que la vitesse de propagation d'un rayon est en raison inverse du *rayon vecteur* d'ellipsoïde *suivant lequel vibrent* ses particules.

Détermination du signe d'un cristal uniaxe. — Le signe d'un uniaxe étant constant, il suffit de déterminer celui d'une plaque anisotrope quelconque, mais d'orientation bien déterminée, taillée dans le cristal. Il s'agit de savoir si l'axe de l'ellipse correspondant à la vibration *ordinaire* est supérieur ou inférieur à l'autre. Cet axe correspond à une direction linéaire, réelle ou fictive, tracée à sa surface et *parallèle au plan équatorial* de l'ellipsoïde de révolution. C'est l'une des deux positions d'extinction.

Détermination du signe d'une lame à faces parallèles. — Déterminer le signe optique d'une lame, c'est chercher la valeur relative des indices correspondant aux axes de l'ellipse que détermine sa surface dans l'ellipsoïde des indices.

Les positions d'extinction donnent leur direction, mais ne renseignent aucunement sur leur grandeur. On peut opérer cette recherche soit en lumière parallèle, soit en lumière convergente.

I. **Lumière parallèle.** *Principe.* — Supposons une lame anisotrope, placée dans l'orientation qui donne l'éclairement maxima entre deux nicols croisés et éclairée par de la *lumière blanche* (à 45° des sections des nicols). Elle prend, nous le savons, une certaine teinte correspondant à son épaisseur et qui tient à la différence de phase des composantes rectangulaires de chaque rayon double. Supposons que son ellipse de section ainsi que ses axes soient tracés à la surface. Si son épaisseur venait à augmenter, nous savons encore qu'elle présenterait une teinte plus élevée dans l'échelle de Newton.

Cela étant, imaginons une seconde lame anisotrope sur laquelle est aussi tracée l'ellipse correspondante, et superposons-la à la première, de telle sorte que les grands et les petits axes de chacune prennent la même direction.

On comprend, sans qu'il soit besoin d'insister davantage, que la différence de phase de chaque rayon double subira un nouvel accroissement en traversant la seconde lame et que tout se passera comme si l'épaisseur de la lame avait augmenié. La teinte montera dans l'échelle de Newton.

Si l'on avait mis la seconde lame dans une position rectangulaire, l'effet inverse se serait produit. En définitive, si les directions de plus grand indice sur l'une et l'autre lame coïncident, il y a élévation de teinte dans l'échelle de Newton. Et des deux positions rectangulaires, on cherchera celle qui amène ce résultat.

Application de la méthode. 1° *Lame de gypse.* — Comme lame auxiliaire, on peut employer une lame de gypse, obtenue par le clivage très facile de ce minéral parallèlement au clinopinacoïde, et d'une épaisseur telle qu'elle donne le rouge du premier ordre entre nicols croisés. La direction d'indice maximum est marquée généralement par une flèche tracée sur la lame.

2° *Mica quart d'onde.* — La lame auxiliaire est obtenue par le clivage facile, suivant la base du mica muscovite. On lui donne une épaisseur telle que les deux rayons polarisés, issus d'un même incident, aient à sa sortie une différence de phase d'un quart d'onde pour la lumière monochromatique du sodium. Cette épaisseur est $0^{mm},032$. Considérée seule en nicols croisés, une telle lame donnerait une teinte gris-bleu.

Dans l'expérience, les différences de phase des deux lames s'ajoutent si leurs grands et leurs petits axes sont parallèles; ils se retranchent s'ils sont rectangulaires. La teinte monte ou baisse dans l'échelle. La direction de plus grand indice est indiquée par une flèche sur la lame de mica.

3° *Compensateur de quartz.* — C'est une lame de quartz taillée en biseau sous un angle de 1° à 3° dont l'arête est parallèle à l'axe cristallographique. A partir de l'arête où l'épaisseur est nulle, il présente donc des épaisseurs croissantes, et examiné seul il fournit successivement des bandes parallèles présentant successivement toutes les teintes de l'échelle de Newton. Il suffit pour cela de l'avancer ou de le reculer. La direction de l'arête correspond à l'indice maxima du quartz, qui est positif.

La méthode consiste ici à trouver une position du

quartz telle que son épaisseur interposée détruit la couleur présentée par la lame étudiée. Ce résultat se produira quand l'arête (direction d'indice maxima) sera parallèle à la direction d'*indice minima* de la lame.

Lumière convergente. — On examine une lame taillée perpendiculairement à l'axe de révolution (principal). Observée seule entre nicols croisés, elle donne, comme on sait, la croix noire et les anneaux. On superpose ensuite une lame de mica quart d'onde, dont la direction d'*indice maxima* marquée par la flèche est orientée à 45° des sections des deux nicols. La lumière est rétablie au centre de la croix, tandis que deux taches noires symétriques apparaissent dans la direction de la flèche si le cristal est négatif, dans la direction perpendiculaire si le cristal est positif.

Voici l'explication élémentaire de ce phénomène. La lame de mica étant excessivement mince, le chemin parcouru à son intérieur par les divers rayons obliques variera excessivement peu; par suite, la différence de phase existant entre les composants de chaque rayon double sera à peu près la même pour les différents points de la lame, surtout ceux qui sont peu éloignés du centre. D'ailleurs, les axes de la section elliptique ont même direction en tout point de la lame auxiliaire. Donc tout rayon double, en traversant la lame, verra de ce fait la différence de phase de ses composantes augmenter d'un quart environ de sa longueur d'onde.

Le premier effet de l'interposition de la lame de mica est d'éclairer le centre. En effet, il correspond, pour la lame observée, à une direction d'uniréfringence. Le rayon émis par le polarisateur, transmis sans altération, était totalement arrêté auparavant par l'analyseur. En arrivant à la surface de la lame de mica, il se bifurque en deux autres qui donnent chacun à la sortie une composante dans la section principale de l'analyseur. Le domaine résultant n'est pas nul, puisqu'il n'y a entre elles qu'une différence de phase d'un quart d'onde. Mais l'extinction aura lieu pour les deux points les plus voisins où se produira une différence de phase d'une demi-longueur d'onde.

Je dis que ces deux points se trouveront sur la direction de la flèche si le cristal est négatif, dans une direction perpendiculaire s'il est positif. Etablissons d'abord que pour tout point de la lame uniaxe autre que le centre, les directions de plus grand et de plus petit indice, c'est-à-dire les directions d'extinction en lumière parallèle, varient avec l'azimuth.

Soit, en effet, un point de la lame et la direction du rayon double qui y aboutit. Traçons autour de ce point l'ellipsoïde des indices et menons un plan normal au rayon. Il coupe l'ellipsoïde suivant une ellipse dont l'un des axes est situé dans le plan de la lame, normalement à l'azimuth considéré, l'autre dirigé vers le centre de la lame. Il en résulte qu'en tout point de la surface de séparation des deux milieux les directions d'extinction (de plus grand et de plus petit indice) ne coïncident généralement pas. L'effet de la superposition pourra par suite varier soit dans un sens, soit dans l'autre.

Pour les points situés dans des azimuths tels que leurs directions d'extinction à la surface de la lame uniaxe coïncident avec celles du mica, les différences de phase s'ajouteront si les grands axes sont dirigés dans le même sens, se retrancheront s'ils sont rectangulaires. Or, tous ces points sont situés sur la direction de la flèche ou sur la direction rectangulaire.

Si le rayon ordinaire est celui dont les vibrations correspondent à la direction de plus grand indice, le retard maxima se produira dans la direction de la flèche (plus grand indice du mica), et c'est par suite dans ce sens à partir du centre que se produira la différence de phase d'une demi-longueur d'onde nécessaire à l'extinction. Le cristal sera négatif, car l'indice ordinaire représenté par la longueur du cercle équatorial étant le plus grand, l'ellipsoïde est aplati.

Une démonstration identique montrerait que pour un cristal positif les taches seraient situées dans une position rectangulaire.

Comme moyen mnémonique pour se rappeler la position des taches correspondant au signe, on remarquera que pour un cristal positif la droite qui les joint forme avec la direction de la flèche le signe +.

Du signe des cristaux biaxes. — Dans les cristaux biaxes il n'y a plus à proprement parler de rayon ordinaire, car aucun des deux rayons dus à la double réfraction n'obéit aux lois de Descartes.

Ainsi dans une expérience analogue à celle qui nous a permis de constater la constance de l'un des indices dans le spath d'Islande, les deux images d'un point considéré à travers une lame biaxe à faces parallèles subissant successivement toutes les orientations dans son plan, se déplacent toutes les deux et décrivent un cercle autour d'un centre commun.

On peut cependant à de tels cristaux attribuer un signe par *convention*.

Dans un biaxe en effet la *bissectrice aiguë* est nécessairement direction d'indice maxima ou minima, puisqu'elle coïncide soit avec le plus grand axe, soit avec le plus petit de l'ellipsoïde des indices. Sous ce rapport elle est assimilable à l'axe de révolution des uniaxes. Si sa direction est celle du plus grand indice, le cristal est dit *positif;* sa direction correspond-elle à celle du plus petit indice, le cristal est dit *négatif*.

On peut, en effet, considérer la bissectrice aiguë comme l'axe principal de l'ellipsoïde de révolution que l'on obtiendrait par la déformation minima capable d'amener la coïncidence des deux axes optiques de l'ellipsoïde réel.

Polarisation rotatoire. — Prenons une lame à faces parallèles de la variété hémièdre dite *droite,* taillée perpendiculairement à l'axe principal cristallographique, direction, comme on sait, d'uniréfringence. Plaçons-la entre deux nicols croisés et éclairons avec de la lumière rouge, par exemple. Phénomène inattendu, il n'y a pas extinction pour cette position des nicols. Mais si nous faisons tourner l'analyseur dans le sens des aiguilles d'une montre, l'extinction se produira pour un angle déterminé des deux sections principales. En employant toute autre lumière monochromatique, le même phénomène se renouvellera, mais l'angle nécessaire pour amener l'extinction sera différent et croîtra en raison inverse du carré de la longueur d'onde; pour une épaisseur de lame de 1 mm. l'angle dont l'analyseur aura tourné sera de 19° pour le rouge moyen, de 24° pour le jaune, de 44° pour le violet extrême.

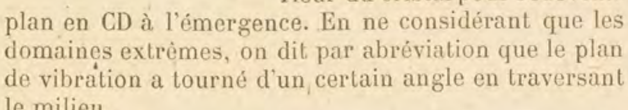
En opérant de même avec une lame de même épaisseur taillée dans un quartz *gauche,* les angles d'extinction seraient identiques, mais décrits dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre.

Influence de l'épaisseur de la lame. — La rotation de l'analyseur qui rétablit l'extinction pour une couleur donnée est proportionnelle à l'épaisseur de la lame. Soit α l'angle d'extinction correspondant au jaune pour une épaisseur e; 2α, 3α, 4α, ..., $n\alpha$ seront les angles correspondants aux épaisseurs $2e$, $3e$, $4e$, ..., ne.



Fig. 109.

Rotation du plan de polarisation. — Pour expliquer ces faits on admet que la direction de vibration d'une particule d'éther du rayon polarisé varie d'une façon continue et uniforme à mesure que le plan dans lequel on la considère se déplace dans le milieu normalement à l'axe. Le domaine vibratoire ABCD (fig. 109), plan à son entrée, se transforme en hélicoïde régulier dans l'intérieur du cristal pour redevenir


plan en CD à l'émergence. En ne considérant que les domaines extrêmes, on dit par abréviation que le plan de vibration a tourné d'un certain angle en traversant le milieu.

Influence de la nature de la substance. Pouvoir rotatoire spécifique. — Pour une couleur correspondant à une longueur d'onde donnée, la déviation du plan de vibration varie avec la nature de la substance. C'est une constante spécifique. On appelle pouvoir rotatoire spécifique pour une couleur donnée la déviation produite par une lame ayant pour épaisseur l'unité de longueur. On choisit généralement la lumière jaune de la flamme de l'alcool salé. Cette constante se désigne par α.

Superposition de plusieurs lames. — La déviation totale est égale à la somme algébrique des déviations particulières à chacune d'elles, c'est-à-dire qu'elles s'ajoutent si elles sont de même sens, se retranchent si elles sont de même sens inverse. Ainsi les déviations résultant de la superposition de deux lames de quartz, l'une droite, l'autre gauche, se détruisent mutuellement, et le plan de polarisation reprend son orientation primitive à l'émergence du système pour avoir subi deux déviations égales et de sens contraire.

Lumière blanche, coloration d'une lame. — Interposons entre deux nicols croisés une lame de substances douée de pouvoir rotatoire et éclairons par une lumière monochromatique, celle du sodium, par exemple, puis, par une rotation convenable de l'analyseur, amenons l'extinction. Substituons-lui ensuite une lumière rouge, nous savons que l'extinction n'aura plus lieu, mais que l'intensité sera affaiblie.

Une lumière monochromatique quelconque donnera un résultat analogue, et l'éclairement correspondant sera d'autant plus intense que l'angle des sections principales des nicols sera plus éloigné de l'angle qui produirait l'extinction.

Donc à une position relative déterminée de l'analyseur et du polariseur, correspondra l'extinction d'une certaine couleur et une variation dans l'intensité de chacune des autres.

Un faisceau incident de lumière blanche qui possède toutes les couleurs du spectre prendra donc à l'émergence une coloration déterminée, et cette coloration différera avec l'orientation donnée à l'analyseur. On pourra même la calculer à priori connaissant l'épaisseur de la lame, son pouvoir rotatoire pour une radiation déterminée du spectre, et la loi de variation des intensités en fonction des longueurs d'onde.

Influence de l'orientation de la lame dans son plan. — Elle est nulle pour une position invariable des nicols, et cela se conçoit facilement. Sa coloration, en effet, n'est pas due à un phénomène d'interférence, comme dans le cas de polarisation chromatique, puisque la direction des rayons est direction d'uniréfringence. Celle-ci ne donne lieu à aucune décomposition en rayons doubles. On peut l'envisager simplement comme une sorte d'absorption particulière de la lame, différente pour chaque couleur et indépendante de la direction du mouvement vibratoire.

Donc, pour une *orientation donnée* des deux nicols, la lame possède une couleur propre qui ne dépend que de sa nature et de son épaisseur, et *non de son orientation.*

Variation de couleur de la lame en lumière blanche quand l'analyseur exécute une rotation complète. — Si l'analyseur tourne dans le sens du pouvoir rotatoire, il amène successivement l'extinction des couleurs du spectre en commençant par le rouge. On observe donc successivement une suite de couleurs analogues à celles du spectre, mais qui ne sont pas identiques aux couleurs de polarisation chromatique, la loi d'extinction n'étant pas la même.

Si la rotation de l'analyseur s'effectue en sens inverse, les colorations se succèdent en sens inverse (suivant l'ordre du spectre).

Teinte sensible. — Lorsque la section principale de l'analyseur est perpendiculaire à la direction des vibrations du jaune, la lame prend une coloration bleu-lavande appelée *teinte sensible,* qui correspond à une orientation des nicols très facile à déterminer exactement. En effet, une rotation *très petite* dans le sens du pouvoir rotatoire donne un violet-bleu, la rotation en sens inverse donne le jaune.

PHÉNOMÈNES DE COLORATION

Quand un faisceau de rayons lumineux tombe sur un corps, en traversant sa surface il se divise en général en trois parties : la première est réfléchie, la seconde absorbée, la troisième passe à travers le corps.

A ce point de vue, on peut considérer trois cas : 1° le corps est *opaque* et il arrête totalement la lumière; 2° il est *translucide* et n'en laisse passer qu'une partie dans des conditions telles que son interposition entre l'œil et un objet éclairé quelconque ne permet pas de percevoir les contours de celui-ci; 3° il est *transparent* s'il se laisse traverser par les rayons, au moins de certaines couleurs, de façon à permettre de distinguer nettement un objet à travers sa masse.

Il n'y a que peu de corps complètement opaques sous une faible épaisseur. La plupart d'entre eux, en effet, réduits en lames excessivement minces, transmettent au moins certains rayons. L'or, par exemple, amené par le battage en feuilles de quelques millièmes de millimètre d'épaisseur, laisse passer de la lumière verte.

L'intensité de la couleur réfléchie, la vivacité de l'éclat qui l'accompagne, l'accroissement de l'épaisseur, l'hétérogénéité de structure et de composition sont les principales causes de l'opacité. L'*hydrophane,*

variété d'*opale* habituellement opaque, devient transparente quand elle est plongée dans l'eau. On explique ce fait en admettant qu'elle contient des pores qui, pleins d'air, absorbent la lumière par suite de réflexions successives internes sur leurs parois, et, remplis d'eau, permettent la transmission des rayons qui n'éprouvent plus la réflexion totale, la densité des deux milieux et par suite la différence des indices de réfraction devenant moindre. Ce fait avait frappé l'imagination des anciens, qui avaient donné à l'hydrophane le surnom d'*œil du monde*.

Il n'existe pas de corps qui soit complètement transparent. Tous, en effet, pris sous une épaisseur suffisante, affaiblissent en les absorbant certaines radiations, et probablement toutes.

On appelle **couleur** l'impression visuelle résultant de la *nature* des rayons qu'émet un corps éclairé par de la lumière blanche. Elle peut provenir : 1° des rayons *réfléchis* ou *diffusés;* 2° des rayons *transmis* ou *réfractés,* c'est-à-dire ayant traversé la substance considérée sous une certaine épaisseur.

Il y a donc lieu de distinguer entre la *couleur* proprement dite et la *couleur par transmission* ou *transmise.*

Couleur. — C'est un des caractères les plus saillants du minéral et l'un des plus aisés à observer, puisqu'il n'y a besoin pour cela d'aucun instrument particulier.

Elle est due à l'inégal pouvoir réflecteur de la surface pour les différentes espèces de radiations, et à l'absorption plus considérable éprouvée par certaines d'entre elles, qui, par suite, sont réfléchies avec une intensité moindre.

La modification subie par un faisceau de lumière blanche après une série de réflexions successives sur la même surface met ce fait hors de doute. L'or, après six réflexions, paraît rouge, par suite de l'affaiblissement graduel des rayons complémentaires de cette teinte. Dans les mêmes conditions, l'argent devient jaune pur; le zinc, bleu-indigo, etc.

La couleur peut être *propre* ou *accidentelle.*

La couleur *propre* est spéciale au minéral, inhérente à sa nature chimique et souvent caractéristique; en outre, elle s'étend à toutes les parties de sa masse, si petites soient-elles, avec la même intensité. Comme exemples on peut citer celle de l'or, qui est jaune; du cuivre, qui est rouge; du cinabre, qui est orangé; de l'érythrine, qui est rose-fleur de pêcher; de la malachite, qui est verte; de l'azurite, qui est bleue.

La couleur du minéral considéré en masse n'est pas, et cela se conçoit facilement, celle de sa poussière, car elle dépend dans certaines limites de l'état de la surface réfléchissante. L'éclat, en particulier, s'oppose à une appréciation exacte. Aussi est-il de la plus haute importance de considérer la couleur de la *poussière,* qui est beaucoup plus caractéristique. Pour observer celle-ci pratiquement, on frotte une partie autant que possible aiguë de l'échantillon soumis à l'examen sur un disque de porcelaine blanche non vernie. La coloration de la trace permet souvent de distinguer entre deux espèces voisines.

Les oxydes de manganèse et de fer peuvent être très facilement différenciés par ce caractère.

La pyrolusite a une poussière noir bleuâtre; l'acerdèse, brune; la psilomilane, noir-brunâtre; la hausmannite, brun-rouge; la magnétite, noire; l'oligiste, rouge; la limonite, jaune, etc.

Les *couleurs accidentelles* sont fréquentes pour beaucoup d'espèces minérales et ont moins d'importance au point de vue de leur différenciation. On peut les répartir en deux classes : celles qui proviennent d'un *mélange mécanique* et celles qui proviennent d'une *combinaison chimique.*

Les premières sont dues à l'inclusion de particules de corps étrangers entraînés dans la masse pendant la formation et la cristallisation. Elles tirent leur origine du milieu dans lequel celle-ci s'est opérée, et peuvent parfois être reconnues soit à l'œil nu, soit par une observation à la loupe et au microscope. Quand les particules colorées sont trop ténues pour pouvoir être caractérisées ainsi, on peut parfois les isoler par voie de dissolution; mais ce cas est assez rare.

Certaines substances naturellement incolores, comme le quartz, l'orthose, l'axinite, le sphène (pl. XXIII, fig. 9), deviennent vertes, par suite d'inclusions de chlorite; la variété de quartz dit hématoïde ou hyacinthe de Compostelle (pl. XIII, fig. 11) est rougie par de l'oxyde de fer (hématite). La heulandite (pl. XXIV, fig. 8), la natrolite (pl. XXIV, fig. 3), la chabasie (pl. XXIV, fig. 6), sont aussi dans ce cas.

Quelques-uns de ces principes colorants sont en si faible quantité, que leur nature n'a pu être déterminée avec certitude et que l'on en est réduit aux conjectures. Certains d'entre eux s'altèrent avec la plus grande facilité à la chaleur et même à la lumière. Le quartz rose, par exemple, se décolore peu à peu, et la cornaline perd au bout d'un certain temps sa belle couleur rouge-cerise, qui va en s'atténuant peu à peu. Aussi cette altération facile permet-elle de faire suspecter la nature organique de l'impureté colorante.

Tandis que la couleur propre est uniformément répandue dans la masse minérale, les couleurs résultant d'un mélange mécanique sont assez inégalement distribuées et ne s'étendent pas nécessairement à toutes les parties de l'individu. Un même échantillon de fluorine peut présenter des parties violettes, des parties roses, des parties vertes et des parties blanches. Le disthène peut être bleu et brun jaunâtre (pl. XVI, fig. 11); la tourmaline, vert d'herbe et brune (pl. XVII, fig. 2 et 3). On trouve même des cristaux de cette dernière substance composés d'un noyau interne rose, recouvert d'un revêtement vert-olive.

Les couleurs par *combinaison chimique* sont très fréquentes et se trouvent dans la plupart des pierres précieuses et des pierres d'ornement, si recherchées pour la parure. Une même espèce minérale peut être ainsi colorée de manières très diverses. Il y a des diamants jaunes, bleus, verts et roses; des émeraudes vert foncé, vert bleuâtre, vert clair, jaunes, blanches, incolores; des topazes incolores, bleues, jaunes, etc. La joaillerie donne à ces variétés des noms différents, suivant leur coloration, et souvent, pour distinguer l'espèce à laquelle elles appartiennent, il faut avoir recours à la détermination de caractères physiques n'altérant ni leur aspect ni leur masse.

L'égale répartition du principe colorant à leur intérieur montre qu'il ne s'agit pas d'un mélange mécanique, mais bien d'une véritable combinaison chimique ou d'un mélange de matières isomorphes. On sait que le rubis et le saphir ne sont que du corindon combiné à des quantités excessivement petites d'oxyde de chrome, si faibles qu'il est impossible de leur assigner

une formule déterminée. Mais, dans un grand nombre de cas, la nature des colorants reste encore mystérieuse. On profite quelquefois de leur altérabilité à la chaleur pour modifier la teinte de certaines pierres. Ainsi, en chauffant les variétés jaunes de topaze, on avive leur nuance : on leur donne alors le nom de *topazes* brûlées. Dans le même but, on profite de la porosité relative des agates pour faire pénétrer dans leur masse certains liquides capables de réagir chimiquement sur les composés qui les colorent, et leur faire subir ainsi une sorte de teinture (pl. XIV, fig. 13).

Désignation des couleurs. — On se sert en minéralogie de leurs noms ordinaires. Toutefois, s'il faut préciser davantage, on leur adjoint une épithète : *bleu foncé, bleu pâle, rouge clair.* On ajoute encore, s'il en est besoin, un qualificatif de modification : *blanc grisâtre, jaune verdâtre,* etc. Quelquefois on identifie la couleur à celle d'un corps bien connu : *bleu-lavande, bleu-de-ciel, vert-poireau, jaune-d'or, brun-tombac,* etc.

Disposition des couleurs. — Il importe, dans le cas des couleurs accidentelles, de désigner leur mode de distribution dans la masse. On qualifie alors l'échantillon de *rubané* (pl. X, fig. 6), de *zonaire* (pl. XIII, fig. 23), de *veiné* (pl. XX, fig. 9), de *dendritique* (pl. VII, fig. 1 et 2), de *ruiniforme* (pl. XXVI, fig. 29).

Couleurs transmises. — La lumière transmise est celle qui a traversé un milieu transparent. On sait qu'elle ne constitue qu'une partie seulement du faisceau incident, qui, déjà altéré par la réflexion superficielle, subit en outre une absorption à l'intérieur du corps.

Quand l'intensité des radiations diverses varie par suite de ces deux causes dans le même rapport, le faisceau émergent sera constitué de lumière blanche si le faisceau incident était blanc lui-même. Mais en général le pouvoir absorbant diffère pour chaque couleur en particulier, et le faisceau sort coloré. Pour certains auteurs, cette coloration est considérée comme la *couleur propre* du corps.

Dans les corps *isotropes,* c'est-à-dire amorphes ou cristallisés dans le système cubique, la couleur du faisceau transmis est indépendante de la direction dans laquelle il a traversé le milieu, et par suite toujours la même.

Polychroïsme. — Il n'en est plus de même pour les milieux colorés *anisotropes* dans lesquels la coloration des rayons transmis varie d'une manière continue avec la direction. Il y a alors une infinité de teintes différentes. De tels milieux ont reçu l'épithète de *polychroïques,* et cette propriété le nom de *polychroïsme.*

Le minéralogiste Cordier, professeur au Muséum, a le premier reconnu qu'un silicate d'alumine, de fer et de magnésie, nommé jusqu'alors *iolite* à cause de sa belle couleur bleu foncé, communiquait deux teintes bien distinctes à la lumière transmise : le bleu foncé et le blanc grisâtre ou jaunâtre. Frappé de ce fait singulier, il appela le minéral *dichroïte.* Mais on reconnut plus tard qu'il présentait en réalité trois teintes principales et une infinité d'autres intermédiaires. Ce nom devenant alors impropre, on lui assigna définitivement celui de *cordiérite* (pl. XVII, fig. 13), en l'honneur du savant qui avait remarqué le premier ce fait intéressant.

Il est aisé de se rendre compte de la nature du polychroïsme à l'aide des notions antérieurement acquises sur la polarisation des rayons réfractés dans les substances anisotropes.

On a vu précédemment qu'un rayon de lumière monochromatique, en traversant un milieu anisotrope, se dédouble en deux autres de même longueur d'onde, c'est-à-dire de même couleur, mais vibrant dans des plans rectangulaires, et possédant deux indices, c'est-à-dire deux vitesses de propagation différentes. Or, il arrive que dans les corps *polychroïques* l'absorption dépend justement de cette vitesse, et qu'elle *croît* quand celle-ci *diminue.*

Cela étant, deux rayons rouges résultant du dédoublement d'un incident de même couleur subiront une inégale absorption, et le rapport de leurs intensités à la sortie différera du rapport de leurs intensités à l'entrée (égalité à l'entrée dans le cas d'un rayon naturel).

Il en serait de même pour un incident bleu se superposant au premier, seulement (et c'est en cela que consiste le polychroïsme), le rapport sera différent de celui des rayons rouges.

Si donc le faisceau incident est blanc, il y aura dans chaque plan superposition de rayons altérés à des degrés divers du fait de l'absorption spéciale à chacun d'eux, et par suite coloration particulière de chaque faisceau émergent.

En résumé, l'œil reçoit simultanément : 1° une impression résultant de l'addition de vibrations qui se sont effectuées dans un plan ; 2° une seconde provenant des vibrations effectuées dans le plan perpendiculaire.

Des premières résulte la sensation d'une certaine teinte, des secondes celle d'une autre. Résultat : superposition de deux couleurs composées qui en donnent une troisième.

La *loupe dichroscopique* de Heidinger permet de séparer les deux teintes superposées.

Voici le principe de ce petit instrument.

On sait qu'en regardant un objet lumineux à travers une lame de spath d'Islande, on aperçoit en général deux images distinctes, par suite de la valeur différente des deux indices de réfraction.

En appliquant une lame de corps dichroïque sur une ouverture circulaire ou carrée et en projetant du côté opposé, sur le cristal, un faisceau parallèle de lumière blanche, on obtient ainsi une surface circulaire ou carrée, émettant la lumière transmise. En interposant ensuite un spath d'Islande enchâssé entre deux coins de verre, de façon à composer une lame mixte à faces parallèles, et en regardant avec une loupe convenablement placée, on obtient deux images différentes de l'ouverture. L'épaisseur du spath est déterminée de telle manière qu'elles se recouvrent en partie. La portion commune aura la teinte que percevrait directement l'œil sans l'interposition du spath ; quant aux parties non communes, elles présenteront individuellement les deux couleurs composantes.

L'absorption dépendant des vitesses de propagation, et celles-ci dépendant elles-mêmes, comme on l'a vu, des sections elliptiques normales à la direction de propagation dans l'ellipsoïde optique (ellipsoïde des indices), il y aura en général trois couleurs principales plus tranchées que les autres. Elles correspondront aux directions de propagation suivant les trois axes géométriques de cet ellipsoïde.

En effet, imaginons un rayon se propageant suivant le grand axe, par exemple. Il se décomposera en deux

autres, dont les vibrations seront parallèles au petit axe et à l'axe moyen (axes de l'ellipse de la section perpendiculaire au rayon). L'ensemble des rayons rectangulaires émergents donnera une certaine teinte, que l'on nommera *couleur de face*.

Sur leur trajet, interposons un nicol. Si la section principale de celui-ci est parallèle à l'axe moyen, les rayons vibrant suivant cette direction passeront seuls, et on obtiendra une certaine teinte que l'on nommera *couleur de l'axe moyen*.

Il y a donc dans un cristal biaxe trois couleurs principales.

L'ellipsoïde est, on le sait, de révolution pour les cristaux à un axe. Par suite, toutes les sections elliptiques passant par son centre ont l'un de leurs axes invariable. Les vibrations parallèles à cet axe constant ont une vitesse constante (rayon ordinaire), et par suite pour ce rayon le coefficient d'absorption sera constant. L'une des teintes sera donc toujours identique, quelle que soit la direction du rayon transmis. La différence des deux teintes sera maxima pour une plaque taillée parallèlement à l'axe principal cristallographique du cristal, puisque pour cette orientation la différence des axes de la section elliptique est elle-même maxima.

On pourrait nommer *couleur propre* d'un cristal la teinte acquise par un faisceau de lumière blanche se propageant dans la direction des axes optiques. On sait, en effet, que la transmission des rayons dans ces directions est indépendante de leur état de polarisation, puisque ce sont des directions d'uniréfringence.

Un microscope polarisant ordinaire, après suppression soit de l'analyseur, soit du polariseur, peut servir à étudier le polychroïsme.

En effet, suivant que le plan de vibration de l'analyseur coïncidera avec l'un ou l'autre des plans de vibration rectangulaires normaux à la face du cristal, les vibrations de même direction pourront seules traverser, et on obtiendra séparément, pour deux orientations rectangulaires de la lame, les deux couleurs d'axes dont la superposition constitue la couleur de face.

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur le dichroïsme, parce qu'il fournit un moyen commode de distinguer entre elles, sans les altérer, certaines pierres précieuses dont la couleur est presque identique.

Exemples de polychroïsme. — Rappelons qu'on appelle *couleurs d'axes* celles qui correspondent aux rayons dont les particules éthérées vibrent parallèlement aux trois axes principaux géométriques de l'ellipsoïde des indices *a*, *b*, *c*, *a* étant le grand, *b* le moyen, *c* le petit.

La *couleur de face* résulte, elle, de la superposition des deux couleurs des axes normaux au rayon, se propageant dans la direction du troisième. L'indication *bc* ci-dessous, par exemple, représente la superposition des couleurs des axes moyen et petit.

Cristaux biaxes.

	COULEURS D'AXES			COULEURS DE FACES		
	a	b	c	bc	ac	ab
Cordiérite.........	Gris jaunâtre.	Gris bleuâtre..	Bleu foncé......	Bleu vif................	Bleu pâle....	Gris jaunâtre.
Topaze du Brésil.	Jaune ambré.	Jaune-de-miel.	Jaune-paille......	Jaune-de-miel rougeâtre.	Jaune ambré.	Jaune-de-miel pur.
Péridot............	Vert huileux.	Vert-pré......	Vert-pistache pâle.	Vert-olive	Vert-olive ...	Vert-olive.

Cristaux uniaxes.

	COULEUR DE LA BASE	COULEUR DE L'AXE
	bb	a
Saphir..	Bleu de Prusse	Blanc verdâtre.
Émeraude du Pérou......................................	Vert jaunâtre........	Vert pur.
Béryl du Brésil..	Vert jaunâtre	Vert bleuâtre.
Zircon...	Brun-girofle	Vert jaunâtre.

On voit qu'un simple examen à la loupe dichroscopique permet de différencier le péridot d'un béryl du Brésil.

ÉCLAT

On donne le nom d'*éclat* à une impression particulière éprouvée par l'œil, sous l'action des rayons réfléchis par une surface déterminée. Les minéraux diffèrent beaucoup sous ce rapport. On peut dire que l'*éclat* est à la *couleur* ce que le timbre est à la hauteur dans les sons musicaux. La couleur dépend de la nature des rayons; l'éclat, de leur intensité relative et de certaines modifications de teinte très complexes qu'actuellement la science est incapable de définir avec exactitude. L'éclat dépend de la structure du corps, de sa texture et du poli plus ou moins grand de la surface. Il présente de nombreuses variétés passant les unes aux autres par des degrés insensibles et que l'on caractérise par identification avec celles de substances bien connues.

On distingue ainsi :

1° L'*Éclat métallique,* propre aux métaux, aux alliages, à la plupart des sulfures et des oxydes des métaux lourds. Il est joint d'ordinaire à une grande opacité. Exemples : l'or, l'argent natif, la stibine, la galène.

2° L'*E. métalloïde,* moins vif que le précédent. Exemples : le graphite, le mica, le diallage. Il est généralement joint à une altérabilité facile de la surface et disparaît à la rayure ou la raclure de celle-ci.

3° L'*E. adamantin,* intermédiaire entre l'éclat métallique et l'éclat vitreux. Il est présenté par les minéraux doués d'une forte réfringence, comme le diamant (pl. I, fig. 1), le zircon (pl. XVI, fig. 1, 2), la cérusite (carbonate de plomb).

4° L'*E. nacré* rappelle celui des perles. Il est souvent présenté par certaines faces d'un cristal, à l'exclusion des autres, et paraît lié à la présence de fines stries parallèles. Exemples : le corindon, les micas, le gypse laminaire.

5° L'*E. soyeux,* rappelant les étoffes moirées, se retrouve souvent dans les minéraux formés de fibres parallèles, comme le gypse fibreux, la crocidolite, les variétés fibreuses de disthène et de trémolite.

6° L'*E. gras,* semblable à celui d'une surface de verre frottée d'huile; il se rencontre fréquemment sur le

diamant, le zircon, la cérusite, et par suite a beaucoup d'analogie avec l'adamantin. Exemples : le talc, l'éléolite, le quartz gras.

7° L'*E. résineux*, celui présenté par la colophane, est pour ainsi dire intermédiaire entre l'éclat gras et l'éclat vitreux. On l'observe sur l'ambre, l'opale, le quartz résinite.

8° L'*E. vitreux*, analogue à celui des verres, est présenté par de très nombreuses espèces dont la réfringence est faible. Exemples : le quartz, la tourmaline, la topaze, etc.

L'éclat n'est que rarement caractéristique ; dans les cas les plus favorables, il faut lui adjoindre l'observation d'autres propriétés, pour distinguer entre les espèces. Il est, en effet, très variable en général pour chacune d'elles, et l'énumération précédente ne suffit pas toujours. Aussi emploie-t-on souvent les termes de *sub-adamantin*, *sub-vitreux*, etc., pour indiquer des degrés intermédiaires. Une grande habitude et une longue pratique sont indispensables pour percevoir ces différences.

FLUORESCENCE

On avait déjà remarqué, au temps d'Haüy, que certains échantillons de fluorine frappés par la lumière solaire émettaient autour d'eux, dans toutes les directions, des lueurs vives, bleuâtres et verdâtres. En opérant dans une chambre noire, les phénomènes se manifestent avec une grande intensité.

La lumière solaire n'est pas la seule qui donne ce résultat ; toutes les sources lumineuses riches en rayons très réfrangibles produisent les mêmes effets.

On a reconnu qu'un grand nombre de corps présentaient des propriétés analogues à celle de la fluorine, et on a donné le nom de *fluorescence* à cette émission de radiations particulières.

Toute lumière n'est pas apte à provoquer la fluorescence. On peut s'en assurer en projetant un spectre sur la surface d'un liquide fluorescent, tel qu'une solution de sulfate de quinine dans l'eau. Seules les parties soumises à la portion du spectre située entre la raie G et l'ultra violet s'illuminent. Les autres radiations du spectre demeurent inactives, la lumière rouge et la lumière jaune par exemple.

La lumière électrique est très propre à l'observation de ces phénomènes, ainsi que les décharges d'une bobine d'induction dans un tube de Geissler ou dans le vide de Crookes.

L'émission des radiations ne se manifeste pas dans toute la masse du corps; elle est localisée au voisinage de la surface et ne se produit que jusqu'à une certaine profondeur. Il semble, au delà, que les rayons excitateurs aient épuisé leur pouvoir, car la lumière transmise est incapable de provoquer le même phénomène sur un échantillon identique. En faisant traverser successivement deux auges contenant une solution aqueuse de sulfate de quinine par un faisceau de rayons solaires, la première seule devient fluorescente, l'autre se comporte simplement comme toute substance transparente.

Le diamant devient fluorescent dans le tube de Geissler, sous l'influence des décharges d'induction.

PHOSPHORESCENCE

On appelle ainsi la propriété qu'ont certains minéraux d'émettre des lueurs blanches, jaunes, vertes ou bleues, dans l'obscurité, sous l'influence : 1° d'une élévation de température; 2° de décharges électriques; 3° d'actions mécaniques; 4° d'une exposition préalable à une lumière intense, particulièrement celle du soleil.

Beaucoup de minéraux, parmi lesquels nous citerons les variétés colorées de fluorine, en particulier la chlorophane et certains diamants, deviennent phosphorescents quand on les projette sur une surface chaude, une pelle par exemple.

Ce phénomène peut aussi se manifester chez les mauvais conducteurs, quand on les expose aux décharges électriques d'un condensateur entre les branches d'un excitateur universel. Le corps répand une lueur assez vive, dont la couleur varie et qui peut persister pendant plusieurs mois. On peut rendre par ce procédé, après quelques décharges, le pouvoir phosphorescent à la chaleur et à la lumière, à des substances qui ont perdu cette propriété.

Les actions mécaniques peuvent produire une phosphorescence soit instantanée, soit persistante. Ainsi, quand on écrase à coups de marteau un morceau d'orthose de la variété *adulaire*, il se produit dans chaque fissure une lueur qui peut durer plusieurs minutes, et, pilé dans un mortier, ce minéral paraît en feu.

L'exposition à une vive lumière rend presque tous les minéraux phosphorescents, mais le temps pendant lequel ils peuvent ensuite émettre des radiations visibles est très variable. Ainsi certains diamants restent lumineux pendant plusieurs heures, l'aragonite pendant quelques minutes, et le spath d'Islande pendant quelques secondes seulement.

On peut considérer la phosphorescence comme résultant d'un emmagasinement d'énergie qui se dépense ensuite peu à peu sous forme de radiations d'une nature encore peu connue et qui sont en ce moment à l'étude.

CHAPITRE IV

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DIVERSES DES MINÉRAUX

Chaleur rayonnante. — Les radiations calorifiques sont tout à fait comparables aux radiations lumineuses et se conduisent comme elles.

Un faisceau calorifique incident, en tombant à la surface d'un corps cristallisé, se divise en trois parties : l'une est réfléchie, l'autre absorbée, la troisième transmise.

Il y a des milieux *athermanes* (opaques) qui arrêtent la totalité des rayons calorifiques incidents, d'autres *diathermanes* (transparents) qui les laissent passer sans absorption sensible; enfin une troisième catégorie absorbe certains d'entre eux en se laissant traverser par les autres.

Rappelons qu'il existe des rayons qui sont à la fois *calorifiques* et *lumineux*, et des rayons *calorifiques*

obscurs se distinguant entre eux par leur réfrangibilité, comme le font les diverses couleurs du spectre.

Le sel gemme est sensiblement diathermane pour tous, on peut dire qu'il est thermiquement *incolore :* le quartz, au contraire, est diathermane pour les rayons calorifiques lumineux, et athermane pour les rayons obscurs; il est donc *coloré* au point de vue thermique.

Les lois qui régissent les phénomènes de réflexion simple ou double sont les mêmes que pour la lumière. Les milieux *isotropes* et *anisotropes* jouissent de propriétés analogues. Ces derniers se divisent en *uniaxes* et en *biaxes.*

Tous ces faits ont été constatés et ont une grande portée philosophique, mais au point de vue pratique de la diagnose des espèces ils n'ont donné lieu à aucune application.

Conductibilité calorifique. — Quand un corps est mis en relation avec une source de chaleur immédiate ou éloignée, celle-ci pénètre peu à peu à travers sa masse, et ses différentes parties éprouvent de ce fait une élévation de température croissante. Cette propriété a reçu le nom de *conductibilité,* et un corps est dit plus conducteur qu'un autre lorsque la chaleur s'y propage plus rapidement. Il est naturel de penser que cette propriété varie avec la structure interne du corps et que la vitesse de propagation autour d'un point dépend de la direction considérée quand toutes ne sont pas identiques. C'est ce que l'expérience vérifie.

On ne peut pratiquement étudier ce qui se passe autour d'un point intérieur du cristal, mais il est facile de mettre en évidence la conductibilité dans les diverses directions d'une section plane passant par ce point.

Le principe de la méthode a été trouvé par de Sénarmont, et elle a été rendue pratique par Jeannetaz.

On taille une face parallèle à la direction plane sur laquelle on veut observer le phénomène, puis on la recouvre d'une mince couche de cire. On appuie ensuite en l'un de ses points la pointe d'un cône de platine chauffé par le passage d'un courant électrique. La cire fond autour du point de contact sur une certaine partie de la surface limitée par une ligne isotherme, lieu des points présentant la température de fusion de la cire à la fin de l'expérience. Par un refroidissement brusque celle-ci, en se solidifiant, forme un bourrelet dans le voisinage immédiat de cette isotherme, et on est ramené à mesurer directement les éléments de cette courbe.

C'est toujours une ellipse dont le rapport des axes varie avec l'orientation de la surface et qui dans certains cas devient un cercle. On en conclut que, relativement à un point intérieur du corps, les surfaces isothermes à un instant donné sont des ellipsoïdes.

L'observation montre que les éléments géométriques de cet ellipsoïde ont avec les axes du système cristallin les mêmes rapports qu'avec l'ellipsoïde optique.

Si, par exemple, la direction des trois axes principaux de l'ellipsoïde des indices est la même pour toutes les couleurs, les axes de l'ellipsoïde de conductibilité ont les mêmes directions.

La chaleur se propage d'une façon générale plus rapidement dans les plans de clivage que dans la direction perpendiculaire.

Les cristaux qui possèdent un axe de symétrie principal ont des ellipsoïdes de conductibilité de révolution autour de cet axe.

Pour les substances amorphes ou cristallisées dans le système cubique, les surfaces isothermes sont des sphères.

Il existe donc pour chaque espèce minérale un ellipsoïde isothermique. C'est une surface dont tout rayon vecteur mesure la distance à laquelle une source centrale communiquerait au bout d'un temps déterminé une température donnée.

L'étude de la conductibilité permet de déterminer le système cristallin d'un milieu privé de ses faces naturelles ou opaque, cas dans lequel l'examen cristallographique et optique est généralement impossible.

Dilatation des cristaux. — Quand on chauffe un corps, en général son volume augmente. Supposons-le isotrope, c'est-à-dire amorphe ou cristallisé dans le système cubique, et façonnons-en un cube ayant pour arête l'unité de longueur. Toutes les arêtes étant géométriquement et physiquement semblables, chacune d'elles augmentera d'une certaine quantité α pour une élévation de température de 1°, et le volume deviendra $(1+\alpha)^3$. La quantité α dont s'accroît l'unité de longueur a reçu le nom de *coefficient de dilatation linéaire.* Ce n'est pas une quantité constante, c'est-à-dire qu'elle n'est pas entre 0° et 1° la même qu'entre 100° et 101°.

Quoi qu'il en soit, dans les corps isotropes une variation de température ne modifie pas l'inclinaison des faces les unes sur les autres, elle ne fait que déplacer celles-ci parallèlement à elles-mêmes, et un corps cubique reste cubique à toute température.

Il n'en est pas de même pour les corps anisotropes, qui, suivant la direction considérée, ont une infinité de coefficients de dilatation. En outre, il peut arriver que pour certaines d'entre elles à une élévation de température corresponde une *contraction,* et cela à partir d'une température déterminée. Dans le cas qui nous occupe, l'angle dièdre de deux faces adjacentes variera. Considérons, en effet, les trois longueurs concourantes aboutissant à un angle. A 0°, une face placée sur lui intercepte sur chacune d'elles un segment égal à l'unité par exemple, c'est-à-dire, comme nous l'avons vu, chaque arête tout entière. A 1°, chacune d'elles sera devenue $1+\alpha$, $1+\beta$, $1+\gamma$; α, β, γ étant les dilatations correspondantes; le 2e plan ne sera plus parallèle au premier, car on a $\frac{1}{1+\alpha} \gtrless \frac{1}{1+\beta} \gtrless \frac{1}{1+\gamma}$. Par suite, les angles dièdres seront altérés.

Toutefois, les directions cristallographiquement identiques ayant même coefficient de dilatation, toutes les normales à l'axe principal d'un cristal uniaxe se dilateront de la même manière et le cristal restera uniaxe.

Quand dans un cristal certaines directions, au lieu de se dilater, se contractent pour une élévation de température, le volume pourra soit rester stationnaire, soit même décroître. Dans ce cas, il y a un maximum de densité pour une température critique.

Le diamant à la température de $-42°,3$, la cuprite à $-4°,3$, l'émeraude à $-4°,2$, présentent un maximum de densité, ou, ce qui est la même chose, un minimum de volume. A la température indiquée, chacun de ces corps subit un accroissement de volume, que la température s'élève ou qu'elle s'abaisse.

Dans la calcite, le coefficient de dilatation est positif et égal à 0,00293 suivant l'axe; une baguette taillée dans cette direction s'allonge quand on la chauffe. Taillée dans une direction perpendiculaire, son coeffi-

cient de dilatation est négatif, égal à — 0,00049, et elle se raccourcit par l'échauffement.

Dans les cristaux biaxes, si les ellipsoïdes optiques des différentes couleurs ont même direction d'axes, ces directions sont celles des axes principaux de dilatation.

Propriétés électriques. — Nombre de minéraux présentent des propriétés électriques intéressantes. Celles de l'ambre sont connues depuis la plus haute antiquité, et le mot ἤλεκτρον est la racine du mot *électricité* lui-même.

Tous les minéraux s'électrisent par le frottement, mais, tandis que les uns perdent rapidement la propriété d'attirer les corps légers, d'autres la conservent pendant un temps relativement considérable. La topaze et le diamant sont dans ce cas, tandis que le péridot, bon conducteur, ne manifeste aucun signe d'électricité quand on le tient à la main.

Les pierres en général étant mauvaises conductrices, on peut, pour les électriser, les tenir à la main et les frotter avec un morceau de drap. Un électroscope très sensible consiste en un poil de chat légèrement frotté entre les doigts : il s'électrise négativement et sera attiré par un corps chargé d'électricité positive, repoussé si le corps est chargé d'électricité négative.

Dans certaines conditions, telles qu'un échauffement ou une compression, les différentes parties d'un minéral peuvent acquérir des électricités de nom contraire. On doit à Kundt un élégant procédé pour reconnaître leur mode de répartition. Un mélange de soufre et de minium est projeté par un courant d'air sur le corps à étudier : le minium, électrisé positivement, adhère aux parties négatives; le soufre, électrisé négativement, aux parties positives.

Pyroélectricité. — Cette propriété se manifeste sur les cristaux affectés d'hémimorphisme, c'est-à-dire présentant un axe principal, mais privés de centre. La tourmaline est un exemple bien connu. Par une élévation de température, l'une des extrémités de l'axe se charge d'électricité positive, l'autre d'électricité négative; l'inverse a lieu pendant le refroidissement.

Les deux extrémités se nomment *pôle analogue* et pôle *antilogue:* la première est celle où la nature du changement est *analogue* au changement de température, l'addition de chaleur déterminant une manifestation d'électricité positive. Dans la tourmaline, le pôle analogue coïncide ordinairement avec le sommet le plus aigu. Cette propriété, connue depuis longtemps, lui a valu le nom de *tire-cendre.*

Au reste, ce fait est général, et toutes les fois qu'il n'y a pas même symétrie aux extrémités d'une même direction, on peut constater ce phénomène. Ainsi dans le quartz, de deux arêtes opposées du prisme hexagonal direct, l'une seulement porte les facettes dites « plagièdres », l'autre en est dépourvue. Sous l'influence d'un échauffement, les premières s'électriseront positivement, les autres négativement, fait facile à mettre en évidence par la méthode de Kundt. Les arêtes chargées de minium alterneront avec celles chargées de soufre.

Comme conséquence naturelle, un cristal de quartz chauffé ne peut manifester son état électrique à l'extérieur, car les charges se neutralisent deux à deux.

Piézoélectricité. — L'échauffement n'est pas la seule cause de ces phénomènes. La compression et l'étirement peuvent produire les mêmes effets. Le clivage du gypse et du mica développe sur les lamelles séparées des électricités de nom contraire. Il suffit de presser entre les doigts un cristal de calcite pour l'électriser.

Propriétés magnétiques. — La principale est l'attraction du fer et de certaines de ses combinaisons par l'aimant. Les aimants naturels ne sont autres que des échantillons de *magnétite* ayant acquis des pôles sous l'action des courants telluriques. Un barreau aimanté fait partie du nécessaire de chalumeau, il sert à essayer les globules obtenus sur le charbon, qui sont *attirables à l'aimant* s'ils contiennent une quantité notable de fer.

DURETÉ

C'est la résistance opposée par un minéral à la *rayure*. Cette propriété est une des plus caractéristiques de l'espèce. Un corps est dit posséder une dureté plus grande que celle d'un autre corps lorsqu'il le raye, plus petite s'il est rayé par lui. Si l'on frotte sur une facette de diamant l'extrémité d'une pyramide de quartz, celle-ci s'émoussera en laissant une légère traînée de poussière qu'un frottement léger suffit à faire disparaître. Inversement, une pointe de diamant creusera sur une facette de quartz une raie permanente, elle la *rayera*. Le diamant est donc plus dur que le quartz.

La dureté ainsi déterminée est une dureté *moyenne*, suffisante pour distinguer dans la plupart des cas des espèces minérales dont les autres propriétés sont très voisines.

On sait néanmoins depuis longtemps qu'il est possible de distinguer deux duretés différentes sur le disthène, qui doit précisément son nom à cette particularité (δίς, deux; σθένος, force), l'une de 5 dans le sens de l'allongement des faces les plus larges, l'autre de 7 sur les mêmes faces dans le sens transversal.

Mohs, minéralogiste allemand, a, pour évaluer pratiquement la dureté d'un minéral, imaginé une *échelle* de dureté qui porte son nom. Il considère dix minéraux types, les range dans un ordre tel que chacun d'eux raye le terme précédent et soit rayé par le suivant, et les numérote de 1 à 10.

1. Talc.	6. Orthose.
2. Gypse.	7. Quartz.
3. Calcite.	8. Topaze.
4. Fluorine.	9. Corindon.
5. Apatite.	10. Diamant.

Pour désigner la dureté approximative d'un minéral on cherche à trouver dans la série précédente deux termes successifs tels que l'un soit rayé par lui tandis qu'il est rayé par l'autre. On distingue cette dureté en ajoutant 0,5 au nombre qui exprime celle du terme de l'échelle immédiatement inférieur. Ainsi le zircon, rayé par la topaze (8) et rayant le quartz (7), a pour dureté 7,5. Au point de vue pratique, pour déterminer la dureté d'un corps on frotte un point de sa surface avec une partie aiguë d'une substance prise dans l'échelle.

Il n'y a pas avantage à augmenter le nombre des minéraux pris comme types; souvent au contraire on se sert d'une échelle plus simple. On peut, par exemple, en former une facile à constituer partout avec : 1° le quartz ou cristal de roche; 2° le verre; 3° la calcite; on divisera ainsi les minéraux les plus importants en quatre groupes.

1° Minéraux rayant le quartz :

Diamant, corindon, cymophane, rubis, topaze, zircon, grenat, tourmaline, spinelle, émeraude.

2° Minéraux rayant le verre :

Quartz, péridot, idocrase, axinite, feldspaths, épidote, wernérite, boracite, staurotide, pycnite, sphène, amphigène, amphiboles, pyroxène, prehnite, andalousite, disthène, actinote, asbeste dure.

3° Minéraux rayant la calcite :

Diallage, lapis-lazuli, apatite, harmotome, grammatite, néphéline, anatase, analcime, chabasie, mésotype, stilbite, fluorine, barytine, withérite, célestine, strontianite.

4° Minéraux ne rayant pas la calcite :

Talc, gypse, mica, graphite, molybdénite.

On peut prendre encore des termes de comparaison plus simples, l'ongle, une pointe d'acier et le quartz. A l'ongle, on peut différencier le gypse de la calcite; avec la pointe d'un canif on rayera tous les minéraux possédant une dureté moindre que l'apatite (5); une arête vive de quartz suffira à distinguer les gemmes véritables des gemmes demi-dures, qui ont une valeur moindre, si on en excepte l'opale. Tout ce qui est rayé par une lame de canif ou une pointe d'acier ne peut compter parmi les *pierres précieuses*.

On conçoit l'utilité de ce caractère pour la distinction des pierres précieuses véritables de leurs imitations si parfaites et si répandues actuellement. Il a surtout l'avantage de ne nécessiter aucune perte de substance, de s'effectuer d'une manière commode et simple, sans qu'il soit besoin de dessertir la gemme.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, nous n'avons jusqu'ici fait usage que de termes de comparaison choisis arbitrairement, comme le serait, par exemple, la division d'un thermomètre avec une échelle quelconque, régulière ou non. Nous avons obtenu ainsi une sorte de graduation analogue aux indications marquées sur la planchette des instruments destinés aux usages communs (température de serre chaude, de tel hiver rigoureux, etc.).

Mais nous pouvons définir la dureté d'une façon plus précise en mesurant à l'aide de poids l'effort nécessaire pour obtenir la rayure. On y parvient à l'aide du *scléromètre*. Cet instrument est essentiellement composé d'un chariot porté sur des rails parallèles et sollicité à se mouvoir horizontalement par un fil passant sur poulie fixe, à l'extrémité duquel est suspendu un poids. On fixe sur ce chariot la lame mise à l'étude. Au-dessus du chariot se trouve une pointe d'acier ou de diamant fixée à l'extrémité d'un levier horizontal susceptible d'être chargée de poids. Pour effectuer une expérience, on fixe la lame horizontalement sur le chariot dans une position telle que la direction des rails soit parallèle à une ligne cristallographiquement déterminée de la face à étudier, puis, ce résultat obtenu, on charge la pointe de poids croissants jusqu'à ce qu'on obtienne par le déplacement du chariot une rayure nette. On est arrivé ainsi aux résultats suivants :

1° Pour une face donnée d'un cristal donné, la dureté varie en général d'une façon continue avec la direction. 2° La dureté est en général différente dans les deux sens d'une même droite. 3° Les faces de clivage possèdent une dureté minima. 4° La dureté dans les différentes directions autour d'un point est en rapport direct avec la symétrie du cristal.

Ce dernier résultat est mis en évidence par la forme des courbes obtenues en coordonnées polaires. On porte autour d'un point sur chaque vecteur une longueur proportionnelle au poids nécessaire à obtenir la rayure dans sa direction. L'ensemble des points ainsi obtenus constitue la courbe de *variation de la dureté*.

Enfin, il y a lieu de tenir compte de la dureté relative des diverses pierres, soit dans leur emploi comme objet de parure, soit dans leur port simultané, pour leur éviter ou les contacts extérieurs ou le frottement sur des matières analogues. Une opale, par exemple, ne saurait être sans danger montée en bracelet, mais pourrait être utilisée en chaton de bague ou en pendant d'oreille. Un bracelet de grenat supporterait mal le voisinage d'un bracelet de saphir, et l'on citait récemment un collier d'émeraudes de grand prix condamné à une retaille totale par suite de contacts répétés avec une rivière de diamants.

CASSURE

Les différentes parties d'un minéral donné, si petites soient-elles, sont réunies de telle sorte qu'un effort est nécessaire pour provoquer leur séparation. La force qu'il faut vaincre pour parvenir à ce résultat porte le nom général de *cohésion*. Elle varie avec la direction, mais elle est intimement liée à la structure. Une espèce donnée, soumise à un choc quelconque, se divise en fragments dont les surfaces de séparation possèdent un aspect spécial qui peut fournir de précieux renseignements au point de vue de la diagnose.

On distingue un certain nombre de *facies* de cassures.

C. conchoïdale, courbée comme une coquille. Le *quartz* est typique sous ce rapport.

C. sub-conchoïdale : ses ondulations sont moins prononcées que dans la précédente, par exemple celle de l'hématite.

C. inégale, couverte d'inégalités anguleuses, irrégulières. Type, tourmaline.

C. lamelleuse : présente des surfaces planes d'une certaine étendue.

C. esquilleuse : la surface présente une multitude de petites écailles qui se détachent avec plus ou moins de facilité.

C. grenue : les surfaces sont recouvertes de petits grains saillants comme dans les marbres cristallins.

On donne souvent à la cassure les épithètes de *vitreuse, résineuse, terreuse,* désignant l'éclat particulier des surfaces de fracture.

CLIVAGE

Bergmann a reconnu le premier qu'en général la division d'un minéral ne se fait point d'une manière quelconque, mais qu'il existe des directions privilégiées de séparation facile. Le spath d'Islande en particulier présente un exemple remarquable de cette propriété, que l'on peut observer sur un grand nombre de minéraux. Le gypse et le mica peuvent avec la plus grande facilité se réduire à l'état de lames très minces. La galène possède trois de ces directions qui sont perpendiculaires entre elles et permettent de la diviser facilement à l'aide d'une lame de canif en parallélipipèdes rectangles et en cubes. Les trois clivages du spath d'Islande sont inclinés l'un sur l'autre de 105° 5'.

Cette facilité de fracture correspond à un minimum de cohésion suivant des directions planes bien déterminées par rapport aux faces naturelles du cristal.

Toute direction plane de clivage est parallèle à une face *naturelle* ou *possible* du cristal; on la désigne par le symbole de celle-ci.

Quand un minéral présente plusieurs directions de clivage, la *facilité* de division est généralement différente pour chacune d'elles : exemple l'anhydrite. Elle sera toutefois la même si les faces naturelles auxquelles elle est parallèle sont identiques. C'est le cas du spath d'Islande et de la galène.

Les différents clivages étant intimement liés à la structure interne, leur nombre, leur facilité et leur nature permettent de tirer des conclusions relativement au système cristallin.

C'est ainsi qu'un minéral cubique peut posséder : trois clivages identiques parallèlement aux faces du cube (galène) ; quatre clivages identiques parallèlement aux faces de l'octaèdre (fluorine); six clivages identiques parallèlement aux faces du dodécaèdre rhomboïdal (blende).

Les faces de clivage sont en général d'un beau poli, et on prend souvent le solide qu'elles fournissent comme forme primitive (calcite). On a vu quel parti en a su tirer Haüy pour sa conception géniale de la *particule intégrante*. La connaissance des clivages faciles est de la plus haute importance dans le travail des pierres précieuses, la taille du diamant par exemple, et permet d'éliminer assez facilement les parties défectueuses de la gemme, les *grains*. Le clivage du diamant conduit à l'octaèdre, celui du saphir et du rubis (variétés de corindon) à un rhomboèdre de 86°,5. La topaze se clive suivant la base.

CHAPITRE V

CONSTITUTION CHIMIQUE DES MINÉRAUX

La constitution chimique des minéraux est de la plus haute importance si l'on considère non seulement leur nature en elle-même, mais encore leur application aux besoins de l'industrie. Quelquefois les propriétés physiques du minéral seules le font rechercher et on l'utilise tel quel, par exemple les diverses pierres précieuses, les matériaux de construction et d'ornement; mais le plus souvent on ne l'exploite que pour en tirer certains éléments qui ne peuvent en être extraits qu'à la suite de transformations chimiques, comme c'est le cas pour les divers minerais.

Un premier problème se pose donc : quelle est la nature des éléments constituants d'un minéral? puis immédiatement un second : en quelles proportions s'y rencontrent-ils? Le premier est résolu par l'*analyse qualitative*, le second par l'analyse *quantitative*. L'exposition des procédés employés sort du cadre de la minéralogie proprement dite et revient à la chimie pure; nous reverrons le lecteur, pour la solution de ces questions, aux traités spéciaux. Mais la constitution chimique du minéral repose sur la connaissance des lois fondamentales, que nous rappellerons succinctement ici.

Prenons un morceau de calcite et brisons-le. Chacun des fragments obtenus possède encore les mêmes propriétés, clivage caractéristique, densité, phénomènes optiques, etc. Poussons ensuite la division de chacun d'eux aussi loin que possible, en le porphyrisant par exemple : chaque parcelle, si petite qu'elle soit, présentera les mêmes caractères. Mais les lois de notre esprit sont telles que, quelle que soit la petitesse de la dernière particule obtenue, il admet la possibilité de la diviser encore et pourra toujours suspecter l'insuffisance des procédés employés et celle des moyens de constatation. N'y-a-t-il pas en réalité une limite à cette division tenant à la nature même de la matière? Nous sommes dans l'impossibilité absolue de le démontrer expérimentalement, mais tous les faits connus d'*ordre chimique* s'expliquent en admettant pour la calcite un élément irréductible et doué d'une individualité propre.

Un fragment de calcite nous apparaît donc comme formé d'une réunion de particules identiques entre elles et que nous appellerons *molécules*.

Les mêmes considérations s'appliqueraient à un composé chimiquement défini quelconque pour lequel nous serions amenés à concevoir pareillement l'existence d'une *molécule caractéristique* particulière.

La *molécule* peut donc être définie ainsi : c'est la plus petite quantité d'un corps chimiquement défini qui puisse exister à l'état libre.

Chauffons maintenant notre calcite au rouge. Il se dégage un gaz incolore, inodore, troublant l'eau de chaux, qui a reçu le nom d'*anhydride carbonique*, et il reste un résidu, fixe, blanc, très avide d'eau, la *chaux* caustique.

Ces deux corps, de nature et de propriétés absolument différentes de celles de la calcite qui leur a donné naissance, sont chimiquement définis eux-mêmes.

Ils ne peuvent évidemment provenir que d'éléments hétérogènes contenus dans les molécules semblables de celle-ci et que nous avons pour ainsi dire *triés* pour en former d'autres molécules. Ces nouveaux corps sont plus simples que la calcite qui résulte de leur *combinaison*, mais ils peuvent être réduits eux-mêmes par certains *triages* appropriés que sont les *réactions* chimiques, l'anhydride carbonique en *charbon* et en *oxygène*, la *chaux* caustique en *oxygène* et en *calcium*. La chimie s'est trouvée jusqu'ici impuissante à tirer de ces derniers corps autre chose que des molécules de même nature et les a appelés *corps simples*.

La calcite, dont nous avons pu tirer trois corps simples, est un *corps composé*.

Nous sommes donc parvenus à établir ce résultat que la molécule d'un corps composé contient des éléments de nature différente, et que la molécule d'un corps simple n'est qu'un groupement d'*éléments identiques entre eux*.

A ces derniers éléments immuables on a donné le nom d'*atomes*.

L'atome existe-t-il réellement? Nous n'en savons rien. En tout cas, en lui attribuant certaines propriétés hypothétiques, on parvient à relier entre eux d'une façon rationnelle les faits pour ainsi dire innombrables découverts jusqu'ici en chimie.

La molécule est donc composée d'*atomes* que nous

pouvons supposer unis entre eux par des liens d'une nature analogue à l'attraction newtonienne, et de même que la division mécanique ou physique a pour limite la *molécule,* de même la molécule a pour limite de division chimique l'*atome.*

Propriétés hypothétiques de l'atome. — 1° Il est indivisible par définition et parce que nous n'avons aucune raison chimique de le supposer divisible.

2° Il est indestructible et immuable.

3° Il possède des propriétés spécifiques et une individualité propre qui le distingue des autres ; ainsi tous les atomes de soufre sont identiques. Il y a autant d'espèces différentes d'atomes qu'il y a de corps simples, et tous ceux de chaque espèce sont identiques entre eux.

4° L'atome de chaque espèce, c'est-à-dire de chaque corps simple, a un poids fixe et caractéristique que des considérations théoriques ont permis d'évaluer en prenant comme unité le poids de l'atome d'hydrogène, le plus léger de tous; on appelle *poids atomique* le nombre qui l'exprime. Dire qu'un corps a pour poids atomique 35,5, c'est dire que si un *certain nombre* d'atomes d'hydrogène pèse un gramme, le *même nombre* d'atomes pèse 35,5 fois plus, c'est-à-dire 35gr,5.

On représente symboliquement l'atome d'un corps simple (en même temps que son poids atomique) par la première lettre de son nom, suivie s'il y a lieu d'une minuscule pour éviter les confusions possibles.

Si plusieurs atomes d'un même corps entrent dans une molécule, on simplifie l'écriture en écrivant son symbole une seule fois et en mettant en exposant le nombre d'atomes. Ainsi Al^2O^3 représente une molécule d'alumine (corindon) formée de l'union de deux atomes d'aluminium et de trois atomes d'oxygène.

Voici la liste des principaux corps simples avec, en regard, leur symbole et leur poids atomique :

Aluminium....	Al.....	27,5	Magnésium....	Mg.....	24
Antimoine.....	Sb.....	122	Manganèse....	Mn....	55,2
Argent........	Ag.....	107,9	Mercure......	Hg.....	200
Arsenic.......	As.....	75	Molybdène....	Mo.....	96
Azote.........	Az.....	14	Nickel........	Ni.....	59
Baryum.......	Ba.....	137	Or............	Au.....	196,2
Bismuth.......	Bi......	210	Oxygène......	O......	16
Bore..........	Bo.....	11	Phosphore....	P......	31
Brome........	Br.....	79,9	Platine........	Pt.....	197
Cadmium......	Cd.....	112	Plomb........	Pb.....	207
Calcium.......	Ca.....	40	Potassium.....	K......	39
Carbone.......	C......	12	Sélénium......	Se.....	79
Chlore........	Cl......	35	Silicium.......	Si......	28
Chrome.......	Cr.....	52,4	Sodium.......	Na.....	23
Cobalt........	Co.....	59	Soufre........	S......	32
Cuivre........	Cu.....	63	Strontium.....	Sr.....	87,5
Etain.........	Sn.....	118	Tellure........	Te.....	128
Fer...........	Fe.....	56	Titane.........	Ti.....	50
Fluor.........	F......	19	Tungstène.....	Tu ou W	184
Glucinium.....	Gl.....	13,9	Uranium......	U......	120
Hydrogène....	H......	1	Zinc..........	Zn.....	65
Iode..........	I.......	127	Zirconium.....	Zr.....	89,6
Lithium.......	Li......	7			

5° L'atome ne peut exister isolé, il a une tendance invincible à s'unir à d'autres pour former une molécule. Si celle-ci ne comprend que des atomes d'une seule espèce, on a affaire, nous l'avons dit, à un corps simple; à un corps composé dans le cas contraire.

6° Dans la molécule les atomes sont maintenus par certaines *liaisons* dont on a à considérer le *nombre* et l'*intensité,* qui en forment un système doué d'une individualité propre et d'une indépendance relative. On nomme, d'une façon générale, *affinité* les forces qu'il faut vaincre pour détruire cette sorte d'édifice.

Cette association d'atomes est soumise à certaines conditions d'équilibre, à certains rapports numériques qui les fait diviser à ce point de vue en cinq catégories distinctes :

I. Un premier groupe comprend les atomes d'*hydrogène,* de *chlore,* de *brome,* de *fluor,* de *potassium,* de *sodium* et de *lithium.*

II. Un second, les atomes d'*oxygène,* de *soufre,* de *sélénium,* de *tellure,* de *magnésium,* de *baryum,* de *strontium,* de *calcium,* de *zinc,* de *manganèse* (composés manganeux), de *fer* (composés ferreux), de *chrome* (composés chromeux), de *cadmium,* de *plomb,* de *cuivre,* de *mercure,* de *platine* (composés platineux), d'*étain* (composés stanneux).

III. Un troisième comprend les atomes d'*azote,* de *phosphore,* d'*arsenic,* de *chrome* (composés chromiques), d'*aluminium,* de *bore,* d'*or,* d'*antimoine,* de *vanadium.*

IV. Un quatrième comprend les atomes de *carbone,* de *platine* (composés platiniques), d'*étain* (composés stanniques), de *silicium,* de *titane,* de *zirconium.*

V. Un cinquième enfin, les atomes d'*arsenic* (composés arséniques), de *phosphore* (composés phosphoriques), d'*antimoine* (composés antimoniques).

Ces diverses catégories sont telles que deux atomes de corps pris dans le même groupe peuvent s'unir entre eux pour former une *molécule.* Ainsi un atome de sodium et un atome de chlore en s'unissant donnent une molécule de chlorure de sodium (nom chimique du sel gemme), NaCl; un atome d'oxygène et un atome de calcium qui appartiennent au second groupe s'unissent pour donner une molécule de chaux caustique CaO; un atome de silicium et un atome de carbone qui appartiennent au quatrième groupe peuvent s'unir pour former une molécule de carbure de silicium, etc.

Si maintenant nous comparons les atomes de groupes différents, nous constaterons que pour qu'avec un seul atome pris successivement dans les cinq groupes nous puissions former une molécule, celle-ci ne pourra exister qu'en comprenant un nombre d'atomes de corps du premier groupe égal à son numéro d'ordre.

Ainsi un atome d'azote exigera trois atomes d'hydrogène pour donner une molécule d'ammoniaque AzH^3; un atome de silicium, corps appartenant au quatrième groupe, fixera 4 atomes de chlore pour donner une molécule de tétrachlorure de silicium $SiCl^4$, etc.

On nomme *valence* d'un atome le *nombre* d'atomes d'un corps du premier groupe qui lui est nécessaire pour former une molécule.

Suivant ce nombre, l'atome est *mono, bi, tri, tétra* ou *pentavalent.*

Une remarque s'impose immédiatement. En examinant le tableau précédent on voit figurer un même corps simple dans plusieurs groupes. Ainsi le fer appartient au second et au troisième; le carbone, au deuxième et au quatrième. C'est qu'en effet la *valence* n'est pas absolue, elle dépend de la nature des atomes qui entrent en combinaison et des conditions dans lesquelles celle-ci s'est effectuée.

Ainsi le fer forme un protochlorure $FeCl^2$, mais il donne aussi un trichlorure $FeCl^3$. Le phosphore est *trivalent* dans le trichlorure PCl^3, et *pentavalent* dans le pentachlorure PCl^5. L'azote est *trivalent* dans l'ammoniaque AzH^3, et *pentavalent* dans le chlorure d'am-

monium (salmiac) AzH^4Cl et dans tous les sels ammoniacaux.

On remarque que, en général, les diverses valences d'un même atome, quand il peut en exister plusieurs, diffèrent de deux unités.

Prenons maintenant une molécule composée d'un atome polyvalent uni à un nombre d'atomes monovalents égal à sa valence, et enlevons par la pensée un certain nombre de ceux-ci. La molécule ne peut exister; mais si dans le *reste* ainsi obtenu nous remplaçons les atomes soustraits par un même nombre d'atomes encore monovalents, mais de nature différente, nous obtiendrons une *molécule* d'un composé différent. Bien plus, nous pouvons remplacer un certain nombre d'atomes monovalents par un seul atome dont la valence soit égale au nombre d'atomes monovalents soustraits.

Prenons par exemple un atome de phosphore pentavalent; on peut l'unir à 5 atomes de chlore monovalents, et on obtient une molécule de pentachlorure de phosphore. Or, on peut lui enlever deux atomes de chlore et remplacer ceux-ci par un seul atome d'oxygène, corps bivalent, et obtenir une molécule d'oxychlorure de phospore $POCl^3$; nous avons ainsi *substitué* un atome à deux autres. En général, au point de vue de la valence la capacité de *substitution* est égale à la capacité de *combinaison*, les valences s'équivalent, qu'elles soient présentées soit par un atome unique, soit par l'ensemble de plusieurs autres.

En résumé, la valence s'offre à nous comme une sorte de lien nécessaire entre les atomes constituant la molécule, mais la nature de ce lien n'est pas identique pour les atomes de même espèce quand ils coexistent. Le *nombre* de ces liens ne varie pas (valence), mais leur *résistance à la rupture* (affinité) peut varier. Ainsi dans le pentachlorure de phosphore il y a deux atomes de chlore moins énergiquement fixés que les trois autres à l'atome de phosphore.

On représente la valence d'un atome par un certain nombre d'accents placés en haut à droite du symbole littéral; s'il s'agit d'une molécule, on représente les valences échangées par un trait d'union qui représente symboliquement chaque lien, et on a dans ce cas la formule développée de la molécule. Cette formule représente non seulement le nombre et la nature des atomes qui la composent, mais encore la manière dont on les suppose réunis entre eux.

Ainsi la molécule d'eau contenant deux atomes d'hydrogène unis à un atome d'oxygène sera représentée par H^2O en formule brute, en formule développée par $H—O—H$, chaque trait indiquant le lien qui existe par suite de l'échange d'une valence.

Dans les molécules ne comprenant qu'un seul atome polyvalent et le nombre exigé d'atomes monovalents, on se rend compte que chacun des seconds est en rapport direct avec le premier, fixé sur lui pour ainsi dire; mais il n'en est en général pas ainsi, et, une formule brute étant donnée, on ne peut pas toujours savoir de quelle manière les différents atomes sont reliés entre eux.

On admet toutefois à **priori** *que les valences des divers atomes pris individuellement sont satisfaites.*

Radicaux. Groupements fonctionnels. — Supposons une molécule et enlevons-lui par la pensée un atome d'un corps monovalent, elle est détruite, sa condition d'existence n'étant plus réalisée, et nous aurons une sorte de *résidu* monovalent lui-même. Adjoignons-lui ensuite un atome ou un autre résidu monovalent, la condition d'existence sera de nouveau satisfaite, et nous obtiendrons une autre molécule.

On donne le nom de *radical* à un tel résidu moléculaire dans lequel une ou plusieurs valences ne sont pas satisfaites. Ce *radical* ne pourra exister seul, à moins qu'une modification ne se produise dans la disposition des liaisons internes, ce qui ne peut avoir lieu du reste que dans le cas où le nombre de valences devenues libres soit pair, pour qu'elles puissent se *neutraliser* deux à deux.

Certains groupes d'atomes fortement liés les uns aux autres peuvent passer en bloc d'une molécule à une autre en emportant avec eux un certain nombre de propriétés caractéristiques d'ordre chimique. Ainsi dans tous les sulfates on retrouve un groupe composé d'un atome de soufre et de quatre atomes d'oxygène qui se transporte tel quel dans toutes les réactions où ces corps prennent naissance. Ce groupe, qui ne peut exister seul, ayant deux valeurs de libres, s'adjoint à des atomes ou à des groupes d'éléments présentant le même nombre de valences libres, comme il arrive pour le sulfate de cuivre SO^4Cu ou le sulfate de potasse SO^4K^2 (Cu est bivalent et K monovalent).

On donne à ces sortes d'individualités instables le nom de groupements fonctionnels, et l'ensemble des propriétés qu'ils transportent pour ainsi dire avec eux prend le nom de *fonction*.

Molécules. — Elles sont déterminées par la nature des atomes qu'elles contiennent, leur nombre et le mode d'échange de leurs valences. Il peut arriver que deux molécules identiques se réunissent en une seule pour en donner une plus compliquée dite polymère de la première. Bien que les proportions pondérales de leurs composants ne soient pas altérées, on a affaire en réalité à la molécule d'un corps différent, mais alors les relations qui unissent les atomes entre eux diffèrent aussi et la formule de constitution n'est pas la même.

Poids moléculaire. — C'est le poids de la molécule; il est caractéristique de celle-ci et évidemment égal à la somme des poids des atomes qui la composent. Ainsi l'eau H^2O a pour poids moléculaire (comme $H=1$ et $O=16$) $2\times1+16=18$; le sulfate de sodium SO^4Na^2 (comme $S=32$, $O=16$, $Na=23$) a pour poids moléculaire $32+4\times16+2\times23=142$.

Affinité. — On nomme *affinité* l'énergie du lien qui tient les atomes réunis. Elle dépend, pourrait-on dire, d'une espèce de *sympathie* variant avec leur nature spécifique; c'est une qualité élective de l'atome. Elle a pour mesure le travail qu'il faut dépenser pour rompre leur combinaison et qui se manifeste sous forme d'une absorption de chaleur. Inversement, l'union de deux atomes dégage une quantité de chaleur correspondant exactement au travail qu'il aurait fallu effectuer pour les désunir.

LOIS PONDÉRALES DES COMBINAISONS CHIMIQUES

Il y en a trois qui se déduisent immédiatement des considérations précédentes.

I. *Le poids d'un corps composé est égal à la somme des poids des composants.*

En effet, le poids de la molécule de ce corps est égal à la somme des poids des atomes qui la composent, et

le poids du composé est celui de l'ensemble de ces molécules.

II. *Deux ou plusieurs corps, pour former un même composé, se combinent en proportions invariables.*

En effet, ce composé n'est autre que la réunion de molécules semblables, et chacune d'elles contient un même nombre d'atomes de même espèce.

Prenons comme exemple l'anhydride carbonique. Sa molécule est composée d'*un* atome de carbone et de *deux* atomes d'oxygène; elle est donc représentée symboliquement par CO^2. Le poids absolu de l'atome d'hydrogène est inconnu, mais supposons qu'il pèse $0^{gr},001$.

D'après le tableau de la page 54, l'atome de carbone pèsera 12 fois plus ou $12 \times 0^{gr},001$.

L'atome d'oxygène pèsera 16 fois plus ou $16 \times 0^{gr},001$.

Il en résulte que la molécule contiendra $0^{gr},012$ de carbone et $2 \times 16 \times 0^{gr},001 = 0^{gr},032$ d'oxygène.

Prenons maintenant un poids quelconque d'anhydride carbonique et supposons qu'il renferme N molécules de ce corps; il renferme par suite N atomes de carbone pesant $N \times 0^{gr},012$ et N fois deux atomes d'oxygène pesant $N \times 0^{gr},032$.

Le rapport des poids des composés sera :

$$\frac{\text{Poids de carbone}}{\text{Poids d'oxygène}} = \frac{N \times 0,012}{N \times 0,032}.$$

On voit que ce rapport est constant et égal à $\frac{12}{32}$ quel que soit le nombre de molécules considéré, c'est-à-dire quel que soit le poids d'anhydride carbonique.

On voit de plus qu'il est indépendant du poids $0^{gr},001$ ou de tout autre arbitrairement attribué à l'*atome d'hydrogène.*

III. *Lorsque deux corps se combinent en différentes proportions pour former plusieurs composés différents, il y a toujours un rapport simple entre les diverses quantités de l'un qui se combinent à un même poids de l'autre.*

Nous nous contenterons d'énoncer cette loi, qui a servi à édifier la théorie atomique dont nous venons d'esquisser les éléments, mais dont nous n'aurons jamais à faire usage par la suite.

Composition centésimale. — Si l'on veut comparer les quantités d'un même corps contenues dans des composés différents, il est commode de rapporter les résultats, non aux poids moléculaires, qui diffèrent pour chaque composé, mais à un poids toujours le même de chacun d'eux. En fait, c'est toujours le résultat que l'on cherche à atteindre en faisant l'analyse, et l'on prend comme unité 100 parties du corps composé.

Un corps donné n'a qu'une seule composition centésimale ou *pourcentage,* ce qui résulte immédiatement de l'invariabilité de constitution de sa molécule (2e loi ci-dessus).

Soit, par exemple, à comparer les poids de fer métallique contenus dans *cent* parties d'oligiste Fe^2O^3 et de magnétite Fe^3O^4. Nous effectuerons les pourcentages de la façon suivante :

Fe^2O^3 contient, d'après le tableau donné page 54 :

2 atomes de fer pesant $2 \times 56 = 112$;

3 atomes d'oxygène pesant $3 \times 16 = 48$.

La molécule de Fe^2O^3 pèse donc $112 + 48 = 160$.

La proportion suivante donnera le résultat cherché :

$$\frac{x}{112} = \frac{100}{160},$$

d'où $x = 70,00$.

On en conclut que l'oligiste contient 70 p. 100 de fer. Un calcul analogue montrerait que la teneur en fer de la magnétite est de 71,98 p. 100.

Classification des corps simples. — Les corps simples à l'état libre peuvent, en réagissant les uns sur les autres, donner des composés dans les molécules desquels entrent des atomes de deux, trois, quatre, etc., espèces différentes. On a alors affaire à des composés binaires, ternaires, quaternaires, etc.

Pour classer les corps simples, on a envisagé la façon dont se comportent les composés binaires sous l'action du courant électrique. Généralement ils sont décomposés, et les atomes se séparent dans chaque molécule, ceux de même nature se rendant au même pôle. Berzélius a admis qu'ils possèdent une certaine charge électrique de nom contraire à celui-ci, d'où la distinction en corps électropositifs et électronégatifs. Il les a rangés en une série linéaire telle qu'un terme quelconque est électronégatif par rapport à ceux qui le précèdent et électropositif par rapport à ceux qui le suivent. L'oxygène, le plus électronégatif de tous, figure en tête de la liste, qui se termine par le plus électropositif, le potassium.

Cette propriété se retrouve dans les composés binaires des corps simples, avec l'oxygène et ses analogues fortement électronégatifs comme lui.

On divise les composés oxygénés des corps simples en plusieurs classes.

1° Les uns, en s'adjoignant les atomes d'une ou plusieurs molécules d'eau, donnent des molécules composées ternaires contenant de l'hydrogène et douées de propriétés analogues à celles du vinaigre, à saveur aigre, rougissant le papier bleu de tournesol. Le corps simple est alors dit *métalloïde;* le composé oxygéné, *anhydride;* le composé ternaire hydrogéné, *acide.*

2° Les autres, en s'unissant à une ou plusieurs molécules d'eau, donnent de même un composé ternaire hydrogéné capable, quand il est soluble, de bleuir le papier de tournesol rougi par un acide, et en tout cas de *neutraliser* les propriétés des acides en donnant naissance à de nouveaux composés ternaires d'où l'hydrogène a été éliminé en même temps qu'il y a eu formation d'eau.

Le corps simple est dit alors *métal,* le composé binaire oxygéné *oxyde basique,* et le composé hydrogéné *hydrate.*

Les anhydrides et les acides sont toujours électronégatifs par rapport aux oxydes basiques et aux hydrates.

Un acide ne contient pas nécessairement d'oxygène, comme on l'a cru pendant longtemps. Il suffit qu'il contienne un radical fortement électronégatif uni dans la molécule à un ou plusieurs atomes d'hydrogène. Dans ce cas, celui-ci peut être facilement remplacé par un corps plus électropositif que lui.

Par exemple, l'acide chlorhydrique HCl, le type plus simple des acides, en réagissant sur l'hydrate de sodium NaOH, donne le sel gemme par la réaction suivante :

$$NaOH + HCl = NaCl + H^2O.$$

On appelle *sel* un corps résultant de l'action d'un acide sur un hydrate ou sur un oxyde. Il y a élimination d'hydrogène à l'état d'eau; si l'élimination de ce corps est complète, on a un *sel neutre* par définition; si elle n'est que partielle, on a affaire à un *sel acide.*

Ainsi une molécule d'acide sulfurique SO^4H^2 en réa-

gissant sur une molécule d'hydrate de sodium NaOH donnera un *sel acide* en vertu de la réaction suivante :

$$SO^4H^2 + NaOH = SO^4NaH + H^2O.$$

SO^4NaH est le *sulfate acide* de sodium. Ce corps en réagissant lui-même sur une seconde molécule de NaOH donnera un *sel neutre* en vertu de la réaction

$$SO^4NaH + NaOH = SO^4Na^2 + H^2O.$$

SO^4Na^2 est le *sulfate neutre* de sodium.

Rapports d'oxygène. — La théorie dualistique créée par Lavoisier et qui a précédé la théorie atomique envisageait les sels ternaires comme des composés d'addition dans lesquels l'anhydride d'une part et l'oxyde de l'autre conservaient leur individualité dans la molécule. Cette manière de voir avait l'avantage de mettre en évidence l'oxygène apporté pour ainsi dire par le métalloïde d'un côté et par le métal de l'autre. En réalité, dans l'état actuel de la science, nous ne pouvons savoir en général les rapports réels existant entre les différents atomes, les liaisons atomiques ayant certainement varié du fait de la combinaison.

Toutefois, il est un fait d'observation indubitable : c'est que dans toute espèce chimique il existe des rapports constants entre le nombre des atomes d'oxygène et la valence des atomes avec lesquels ils formeraient des composés binaires. Autrement dit, le corps oxygéné peut être supposé provenir de l'addition directe d'anhydrides et d'oxydes stables par eux-mêmes à l'état libre.

La combinaison résulte d'un nouvel arrangement des valences.

En outre, ce sont généralement ces oxydes et ces anhydrides qui sont pesés en nature dans l'analyse.

Soit, par exemple, le *feldspath orthose*, silicate d'alumine et de potasse. Sa formule brute la plus simple donnée par l'analyse est $KAlSi^3O^8$. En doublant on aura $K^2Al^2Si^6O^{16}$. Or, un tel corps peut être supposé obtenu en combinant les molécules oxygénées stables suivantes :

$$K^2O, Al^2O^3, 6(SiO^2) \text{ ou } K^2O, Al^2O^3, Si^6O^{12}.$$

Les rapports des quantités d'oxygène unies aux différentes espèces de bases sont entre elles comme les nombres 1 : 3 : 12.

Or, il existe une autre espèce de feldspath, l'*albite*, représenté par la même formule, dans laquelle le potassium est remplacé par le sodium, mais les rapports d'oxygène n'ont pas changé.

Il en est de même pour les grenats, que l'on peut supposer formés de l'union d'oxydes de deux espèces et d'anhydride silicique. R′ étant un métal bivalent comme le calcium et R″ un métal analogue à l'aluminium, la formule générale d'un grenat est donc :

$$3R'O, R''^2O^3, 3SiO^2,$$

ou bien

$$R'^3O^3, R''^2O^3, Si^3O^6.$$

Les rapports d'oxygène sont :

$$3 : 3 : 6 \quad \text{ou} \quad 1 : 1 : 2.$$

Ces formules ont l'avantage d'être plus faciles à retenir.

Formules symboliques des corps isomorphes. — On dit que deux corps sont *isomorphes* lorsque, ayant même forme cristalline ou des formes cristallines très voisines, ils peuvent entrer dans un même cristal en toute proportion. Dans le plus grand nombre de cas, leurs molécules ne diffèrent que par la nature de certains atomes susceptibles de se remplacer les uns les autres. Il en résulte qu'un mélange isomorphe se compose de molécules différentes mélangées en proportion quelconque dans le cristal considéré.

Ainsi la *giobertite* (carbonate de magnésie) et la *sidérose* (carbonate de fer) cristallisent toutes les deux en rhomboèdres très voisins (107° et 107° 20′), et elles peuvent coexister dans un même cristal en proportions quelconques. On peut donc envisager celui-ci comme formé de deux sortes de molécules chimiques, les unes $MgCO^3$, les autres $FeCO^3$, de sorte que la composition peut être exprimée par $x(MgCO^3) + y(FeCO^3)$. A chaque cristal correspondra un système de valeurs pour x et y. Cette constitution sera représentée symboliquement par une même formule en réunissant entre parenthèses les symboles des atomes *jouant le même rôle*, et on écrira simplement $(Fe,Mg)CO^3$.

La gahnite, spinelle zincifère, a souvent une composition complexe. Un spinelle en général est constitué d'un nombre égal de molécules de protoxyde et de sesquioxyde, et le spinelle proprement dit (aluminate de magnésie) a pour composition Al^2O^3, MgO. Or la gahnite se comporte comme un mélange des molécules suivantes :

$$Al^2O^3, MgO$$
$$Al^2O^3, FeO$$
$$Al^2O^3, ZnO$$
$$Fe^2O^3, MgO$$

Ce qu'on écrira symboliquement

$$(Al,Fe)^2O^3 \, (Zn,Mg,Fe)O,$$

qui donne bien les rapports d'oxygène

$$3 : 1.$$

RELATIONS ENTRE LA CONSTITUTION CHIMIQUE ET LA FORME CRISTALLINE DES MINÉRAUX

Polymorphisme. — En général, tout corps chimiquement défini possède une forme cristalline unique qui peut servir à le caractériser. Toutefois, certaines substances, bien que formées des mêmes corps simples unis dans les mêmes proportions, sont susceptibles de revêtir plusieurs formes incompatibles entre elles.

Le soufre est un exemple bien connu. On sait qu'en le faisant cristalliser par fusion il prend d'abord la forme d'aiguilles prismatiques appartenant au système clinorhombique. Très brillantes et d'un jaune foncé, celles-ci ne tardent pas à changer de couleur et à devenir d'une fragilité extrême. Ceci tient à ce que la forme acquise d'abord n'est stable qu'à une température supérieure à 80° et qu'au-dessous elle se transforme spontanément en une autre appartenant au système orthorhombique, stable, elle, à la température ordinaire. Les cristaux de soufre naturels (pl. I, fig. 4 et 5) appartiennent par conséquent à cette variété.

La fragilité constatée plus haut après la transformation, provient de la division des cristaux primitifs en individus orthorhombiques très petits affectant la forme d'octaèdres, d'où le nom d'*octaédrique* attribué au soufre ordinaire, bien que cette épithète puisse être attribuée à des solides de tous les systèmes.

Tant que ces deux variétés ont été seules connues, le soufre a été considéré comme *dimorphe*. Mais on a réussi, en se plaçant dans diverses conditions, à en

obtenir de nouvelles affectant d'autres genres de symétrie, et il est maintenant reconnu comme *polymorphe*.

Le bisulfure de fer naturel présente, lui aussi, deux formes cristallines distinctes. Mais, comme elles sont toutes deux stables à la température ordinaire, on les rencontre dans la nature et elles constituent deux minéraux différents : la *pyrite* cubique (pl. V, fig. 3, 4, 5, 6, 7) et la *marcasite* (pl. V, fig. 8) orthorhombique.

L'oxyde de titane est aussi un exemple remarquable de polymorphisme. On connaît trois formes cristallines incompatibles, toutes stables à la température ordinaire et donnant par suite trois minéraux différents. Deux d'entre eux sont quadratiques et ne diffèrent que par les dimensions de leur forme primitive; ce sont le *rutile* (pl. XVI, fig. 3, 4 et 5) et l'*anatase* (pl. XVI, fig. 6); le troisième, la *brookite*, appartient au système orthorhombique.

La composition chimique seule est donc insuffisante à la définition d'une espèce minérale; il faut déterminer la forme cristalline sous laquelle elle se présente.

Isomorphisme. — On donne le nom d'*isomorphisme* à la triple propriété que présentent certains corps : 1° d'avoir une composition chimique semblable; 2° de présenter des formes cristallines très voisines; 3° de pouvoir entrer dans un même cristal en toute proportion.

On doit au grand chimiste Mitscherlich l'introduction dans la science de cette notion, qui explique les relations très étroites qui relient un grand nombre de composés naturels.

On connaissait déjà avant lui plusieurs groupes très homogènes de minéraux, mais il a précisé leurs liens de parenté et augmenté la série des composés isomorphes de nombreux représentants produits artificiellement.

Citons les principaux exemples de séries isomorphes.

a) Les chlorures anhydres de potassium (kalicine), de sodium (sel marin), d'ammonium (salmiac).

b) Les sulfures (galène), séléniure (clausthalite), tellurure (altaïte) de plomb.

c) Les spinelles, combinaisons de protoxydes et de sesquioxydes de même formule générale

$$RO,R'^2O^3,$$

dont les différents types *théoriques* sont : le spinelle MgO,Al^2O^3, le pléonaste FeO,Al^2O^3, la gahnite ZnO,Al^2O^3, qui sont des aluminates; la franklinite ZnO,Fe^2O^3, la magnétite FeO,Fe^2O^3, qui sont des ferrites; la chromite FeO,Cr^2O^3. Non seulement tous ces spinelles sont cubiques, mais encore ils présentent une même macle et peuvent se mélanger isomorphiquement les uns aux autres de telle sorte qu'il est souvent très difficile sinon impossible de décider à quel type doit être rapporté un échantillon donné.

d) Les carbonates de baryte, de strontiane, de plomb, de chaux (withérite, strontianite, cérusite et aragonite) dérivent tous d'un prisme orthorhombique variant de 116° à 118° 30′ et sont isomorphes.

e) D'autres carbonates alcalino-terreux ont pour forme primitive un rhomboèdre dont l'angle générateur varie de 105° 5′ à 107° 30′. Ce sont : la calcite (chaux), la giobertite (magnésie), la dolomie (magnésie et chaux), la dialogite (manganèse), la sidérose (protoxyde de fer), la smithsonite (oxyde de zinc). Tous ces corps sont parfaitement isomorphes.

Cette propriété ne se trouve pas seulement dans les sels proprement dits. De nombreux silicates la partagent.

f) Le groupe des grenats comprend un certain nombre de silicates ayant pour formule générale

$$RO,R'^2O^3,3SiO^2.$$

Comme pour les spinelles dont il a été question ci-dessus, on distingue un certain nombre de types idéaux comprenant un seul des protoxydes de fer, de magnésium, de manganèse, et l'un des sesquioxydes de fer, d'aluminium et de chrome. Mais en réalité on n'a jamais affaire qu'à des mélanges isomorphes, et il existe tous les passages possibles entre deux types donnés.

g) Enfin, comme dernier exemple, nous citerons la série des silicates complexes appelés feldspaths, qui présentent cependant de grandes différences dans leur constitution chimique.

La considération des relations d'isomorphisme a quelquefois permis aux chimistes de fixer la formule de certains composés comme l'alumine et d'en déduire le poids atomique d'un élément. C'est le cas de l'aluminium.

Différents éléments peuvent donc se remplacer les uns les autres dans divers types de composés chimiques sans altérer ce type même et y jouer un rôle analogue.

On peut considérer les groupes suivants :

1° Chlore, brome, iode, fluor.
2° Soufre, sélénium, tellure.
3° Oxygène, fluor.
4° Potassium, sodium, lithium.
5° Glucinium, magnésium, zinc.
6° Plomb, baryum, calcium.
7° Magnésium, fer, zinc, manganèse, nickel, cobalt (à l'état de protoxydes).
8° Aluminium, fer, manganèse et chrome (à l'état de sesquioxydes).
9° Argent, cuivre.
10° Sodium, calcium.

Les conditions d'isomorphisme ne présentent pas le caractère absolu qu'on leur avait attribué tout d'abord. L'analogie de composition chimique n'est pas nécessaire. C'est ainsi que l'argyrose Ag^2S et la galène PbS se mélangent parfaitement malgré la dissemblance de leur formule.

Des recherches récentes, dues à MM. Wyrouboff et Copaux, ont démontré que certains composés complexes de nature et de fonctions chimiques différentes peuvent se remplacer en toute proportion dans des cristaux mixtes. Il est dès lors manifeste que les deux autres caractères ne sont pas nécessairement liés à une constitution chimique semblable.

L'identité de symétrie et de forme primitive ne sont pas non plus indispensables, car on obtient des mélanges parfaitement isomorphes de nitrate de potassium rhomboédrique et de nitrate d'ammonium orthorhombique. Il suffit, pour que deux ou plusieurs substances cristallisent ensemble, que les dimensions de leurs formes soient voisines, comme c'est le cas de la dolomie et de la calcite. Les récents travaux de MM. Wallerant, Wyrouboff et Herbette ont établi que l'isomorphisme peut exister entre des corps appartenant à des systèmes cristallins différents.

La cristallisation en toutes proportions n'est même

pas un critérium certain, car il peut arriver que ce fait ne se produise que dans certaines conditions déterminées.

Bien que le mélange des corps isomorphes puisse se produire en toutes proportions, certaines espèces minérales semblent avoir une tendance à se combiner dans des rapports simples. Ainsi la dolomie est un mélange à molécules égales de carbonate de chaux (calcite) et de giobertite (carbonate de magnésie). Il en est de même pour la sidérose (carbonate ferreux) et cette même giobertite, qui donnent la pistomésite $FeCO^3 + MgCO^3$ et la mésitine $FeCO^3 + 2MgCO^3$.

Quand des mélanges en proportions définies se retrouvent fréquemment, on en fait des espèces particulières comme celles que nous venons de citer.

Les recherches de Dumas, de Kopp et de Rammelsberg ont établi d'une façon certaine que l'isomorphisme est d'autant plus parfait que les *volumes moléculaires* des corps isomorphes sont plus rapprochés. On appelle volume moléculaire le rapport du poids moléculaire à la densité.

Les propriétés des corps isomorphes sont en général très voisines, et on a admis pendant longtemps que dans les mélanges elles variaient proportionnellement aux quantités respectives des corps mélangés. Le poids spécifique, les angles dièdres, l'écartement des axes optiques, y acquièrent la plupart du temps des valeurs intermédiaires à celles que présentent les composants considérés isolément. Mais il peut arriver cependant qu'elles ne soient pas comprises entre ces limites, et on ne connaît pas de loi qui permette de déduire chacune d'elles de la constitution chimique. Des recherches importantes sont actuellement poursuivies sur ce sujet intéressant.

En somme, la notion d'isomorphisme, si précise sous la forme que lui avait donnée Mitscherlich, est en réalité très complexe. Il semble résulter des travaux les plus récents que les phénomènes de cet ordre sont uniquement du domaine de la physique moléculaire et que les considérations d'ordre chimique doivent être écartées de la définition des corps isomorphes.

Il était difficile d'expliquer la présence de molécules chimiques dissemblables tant que l'on a considéré les éléments de l'édifice cristallin comme indéformables. Il n'en est plus de même aujourd'hui où ces éléments sont envisagés comme des groupements de molécules chimiques disposées autour des éléments de symétrie de la forme. On conçoit parfaitement qu'elles puissent coexister côte à côte pour ainsi dire dans un même cristal.

CHAPITRE VI

DÉTERMINATION PRATIQUE DES MINÉRAUX

La détermination d'un minéral comprend : 1° son analyse qualitative et quantitative ; 2° celle de sa forme cristalline ; 3° celle de ses propriétés optiques. Toutefois, s'il appartient à une espèce connue, et c'est le cas que nous supposerons, il suffit d'effectuer seulement son analyse qualitative, d'examiner ses propriétés physiques les plus saillantes et d'observer certains phénomènes optiques faciles à constater.

On n'a souvent à sa disposition qu'une petite quantité de matière *homogène,* mais il en faut très peu pour l'examen microscopique et les essais pyrognostiques ou microchimiques qui feront connaître la plupart des éléments dont il est constitué. Toutes ces recherches doivent être effectuées sur le même échantillon.

Examen physique. — Il comporte d'abord la constatation des propriétés extérieures immédiates, telles que la couleur, l'éclat, la transparence, l'opacité, la cassure, les clivages, etc.

Dans ce but, on place sur une lamelle de verre un petit fragment que l'on broie avec la pointe d'un canif, on le recouvre d'une goutte d'eau ou d'huile et on porte sur la platine du microscope polarisant, dont on a préalablement enlevé l'analyseur et le polariseur. La facilité de fragmentation a déjà renseigné sur sa dureté ; on constate l'existence de lames de clivage ou leur absence. La netteté des contours et la visibilité de la surface indiquent si son indice de réfraction diffère sensiblement ou non de celui du liquide employé.

On fixe le polariseur au corps de l'instrument et on constate s'il y a ou non dichroïsme. L'analyseur étant ensuite placé dans la position d'extinction permet de voir si le minéral est isotrope ou non. Dans ce dernier cas, il est souvent utile de déterminer les directions d'extinction par rapport à une direction connue du cristal, celle de l'allongement par exemple, et le signe optique de celui-ci.

Enfin, l'emploi de la lumière convergente permettra de reconnaître si l'on a affaire à un uniaxe ou à un biaxe et de mesurer l'angle des axes optiques.

La densité se détermine facilement, au moins d'une façon approximative, à l'aide de liqueurs de poids spécifiques connus.

L'indice de réfraction sera pris par une méthode appropriée.

Enfin on procédera s'il y a lieu à des mesures goniométriques d'angles dièdres.

Examen chimique. — Il consiste en essais pyrognostiques et en réactions par voie humide.

Essais pyrognostiques. — Ils comprennent la fusibilité, la coloration de la flamme, le chauffage en tube fermé, en tube ouvert, et les essais au chalumeau.

Chalumeau. — Ce petit instrument est destiné à obtenir des températures élevées en projetant dans la flamme d'une bougie de l'air insufflé avec la bouche. C'est un tube de cuivre légèrement conique *tt*, muni d'un petit réservoir *ct*, d'un ajutage ou *porte-vent a*, enfin d'un bec de platine *b* (fig. 110). Suivant que l'on veut produire une oxydation ou une réduction, on se met en *flamme oxydante* ou en flamme *réductrice*. La première s'obtient en plaçant le bec à l'intérieur de la flamme. La région oxydante de celle-ci est située à la pointe extrême au delà du cône bleu. On obtient la seconde en maintenant le bec seulement au voisinage

Fig. 110.

de la surface extérieure de la base de la flamme, et on souffle moins fort que dans le cas précédent; la zone lumineuse est la région oxydante. La région de température maxima se trouve sur l'extrémité de la pointe.

Fusion. — Les minéraux peuvent être plus ou moins facilement fusibles; quelques-uns ne le sont qu'à de très hautes températures. On donne le nom d'*infusibles* à ceux qui ne fondent pas au chalumeau ordinaire, tel le quartz.

Ce caractère peut servir à différencier deux minéraux d'apparence et de propriétés voisines.

Kobell a imaginé une *échelle de fusibilité* comprenant sept types : 1° la *stibine,* fondant à la flamme simple de la bougie; 2° le *mésotype,* fondant facilement en un globule; 3° le *grenat almandin,* fondant avec plus de difficulté; 4° l'*actinote;* 5° l'*orthose,* fondant seulement sur le bord des arêtes vives; 6° la *bronzite,* qui ne présente que des traces de fusion sur les bords; 7° le *quartz,* qui est infusible.

Pour constater ce caractère on opère en flamme oxydante à l'extrémité de la flamme, le fragment soumis à l'expérience étant maintenu par une petite pince à bouts de platine.

Dans cet essai, plusieurs circonstances intéressantes peuvent se produire. Il peut y avoir décrépitation pour la blende, bouillonnement avec les zéolites, exfoliation avec le mica, etc. Les minéraux contenant beaucoup de fer donnent un globule magnétique attirable à l'aimant, par suite de la formation de magnétite.

Couleur de la flamme. — En introduisant dans la flamme non lumineuse d'un bec de Bunsen un fragment de la substance, certains corps lui communiquent une couleur caractéristique. Dans ce but on humecte au préalable l'échantillon d'acide chlorhydrique susceptible de donner des chlorures volatils. Une flamme jaune indique le sodium; jaune rougeâtre, le calcium; violet pâle, le potassium; pourpre, le lithium; carmin, le strontium; vert émeraude, le cuivre; vert bleuâtre, le phosphore; vert jaunâtre, le bore. La présence d'une grande quantité de sodium peut masquer la coloration due aux autres métaux.

Pendant cet essai on constatera s'il se dégage des fumées et une odeur particulière. Une odeur sulfureuse indique le soufre; une odeur d'ail et des fumées blanches, l'arsenic; une odeur de moutarde, le sélénium; des fumées blanches seulement, l'antimoine.

Essai au tube fermé. — On chauffe un fragment du corps dans un petit tube de verre fermé à son extrémité inférieure, ce qui permet de constater la sublimation de plusieurs substances volatiles. L'essai devra au préalable être réduit en poudre, et on notera s'il ne se produit pas en même temps un changement de couleur. Il est quelquefois nécessaire de mélanger la poudre avec du carbonate de soude.

Les principaux dépôts de matières volatiles que l'on peut ainsi mettre en évidence sont : l'eau dans les zéolites et les sels hydratés comme la glaubérite; le mercure; le soufre; un anneau miroitant d'arsenic; un sublimé rougeâtre d'oxysulfure d'antimoine, jaune et rouge de sulfure d'arsenic, noir devenant rouge par friction de sulfure de mercure.

Essai au tube ouvert. — C'est un grillage dans un courant d'air. La substance en poudre est introduite dans le coude d'un petit tube de verre courbé à angle obtus chauffé à la flamme d'un Bunsen ou au chalumeau. Il se produit à l'intérieur du tube un courant d'air qui peut amener la formation d'un sublimé ou d'une vapeur. La nature de celle-ci a pu être constatée antérieurement à l'essai de fusibilité. Quant au sublimé, il peut être blanc dans le cas de l'arsenic (acide arsénieux), de l'antimoine, brun dans le cas du bismuth, etc.

Essai sur le charbon. — C'est un procédé de réduction très commode. Le carbone, en effet, enlève facilement l'oxygène aux oxydes des métaux lourds et à certains sels, pourvu que la température soit suffisamment élevée. Souvent une action ultérieure de l'oxygène réoxyde le corps simple immédiatement après sa mise en liberté, et l'oxyde produit s'étend sur le charbon même en une espèce d'auréole dont la couleur est caractéristique. La plupart du temps le métal réduit donne un globule dont on constate les propriétés mécaniques et physiques. Dans beaucoup de cas l'action réductrice est facilitée par la présence du carbonate de soude.

Pour faire l'essai, on creuse un trou dans un morceau de charbon de bois et l'on y dépose un mélange du minéral réduit en poudre et de carbonate de soude. On dirige alors sur cette partie du charbon la flamme réductrice du chalumeau. Il faut observer l'odeur, s'il s'en dégage, et la nature de l'auréole.

Auréoles blanches. — Eloignée de l'essai, odeur d'ail, *arsenic.* — Rapprochée de l'essai, volatile, *antimoine.*

Auréoles jaunes. — Jaune à chaud, blanche à froid, non volatile, *zinc;* jaune-paille à chaud, blanche à froid, non volatile, *étain;* disparaissant en flamme réductrice, *plomb;* jaune foncé, *bismuth.*

Auréole brun rougeâtre. — Volatile, *cadmium.*

Auréole rouge. — *Argent* en présence du plomb et de l'antimoine.

On examine ensuite le globule métallique : s'il est cassant, *antimoine;* brillant et malléable, *étain;* malléable, tachant le papier, *plomb;* blanc et malléable, ne tachant pas le papier, *argent;* rouge de cuivre, *cuivre;* jaune, *or;* gris attirable à l'aimant, *fer.*

On peut aussi dissoudre le globule dans les acides et effectuer des réactions analytiques par voie humide.

Pour déterminer la présence du soufre, il suffit de dissoudre l'*hépar* formé par le carbonate de sodium dans un peu d'eau et d'en déposer une goutte sur une pièce d'argent bien décapée. Elle noircit si l'essai contient du soufre, par suite de la formation de sulfure de sodium.

Perles. — Le *borax* et le sel de *phosphore* (phosphate double de soude et d'ammoniaque) jouissent de la propriété de décomposer la plupart des minéraux et de dissoudre en se colorant la plupart des oxydes métalliques. Par le refroidissement on obtient une perle vitreuse présentant souvent une couleur caractéristique. On les obtient de la façon suivante :

On contourne en boucle l'extrémité d'un fil de platine et, après l'avoir porté au rouge à la flamme du chalumeau, on la trempe dans la poudre de l'un ou l'autre de ces corps. Elle y adhère et y forme une sorte de lentille. On y projette, après l'avoir portée au rouge, une très petite quantité de la substance à essayer, puis on chauffe successivement à la flamme oxydante et à la flamme réductrice jusqu'à ce qu'elle ait acquis une teinte homogène. En général la couleur diffère dans les

deux cas. Ceci a lieu quand le métal est susceptible de plusieurs degrés d'oxydation. Les sulfures et les arséniures doivent au préalable avoir été grillés.

Les tableaux suivants indiquent les couleurs des perles pour quelques métaux.

Essai à la perle de borax.

FLAMME OXYDANTE	FLAMME RÉDUCTRICE	MÉTAL
Améthyste	Incolore	Manganèse.
Jaunâtre à chaud	Incolore	Bismuth.
Violette à chaud Brune à froid	Opaque et grisâtre	Nickel.
Rouge à chaud Jaune à froid	Verte à froid	Fer.
Jaune-orange	Verte	Chrome.
Verte à chaud Bleue à froid	Rouge opaque	Cuivre.
Bleue	Bleue	Cobalt.

Sel de phosphore.

Jaune	Verte	Uranium.
Verte	Verte	Chrome.

L'essai au sel de phosphore est très important, car il permet de déceler les silicates. L'acide phosphorique déplace en effet les oxydes métalliques de l'acide silicique ou silice, et celle-ci, insoluble dans le phosphate, produit une espèce de nuage ou de squelette caractéristique.

Essais sommaires par voie humide. — Sans procéder à une analyse qualitative complète, on peut, au point de vue de la détermination, tirer des conclusions importantes des phénomènes de dissolution dans l'eau ou dans les acides usuels. Ainsi l'or et le platine ne sont solubles que dans l'eau régale. Les carbonates se dissolvent avec effervescence dans l'acide azotique, les phosphates sans dégagement de gaz. La plus ou moins grande facilité d'attaque peut servir à distinguer certaines espèces, par exemple la calcite de la dolomie, cette dernière n'est attaquée qu'avec difficulté par l'acide chlorhydrique. La couleur de la solution décèlera le cuivre, le nickel, le cobalt, le fer. Les sels alcalins et quelques sels alcalino-terreux sont solubles dans l'eau. Enfin, dans quelques cas une réaction simple peut immédiatement renseigner sur la présence de certains métaux. L'azurite, par exemple, est soluble avec une faible effervescence dans l'acide azotique, et la solution sursaturée d'ammoniaque donne de l'eau céleste, remarquable par la superbe coloration bleue qui lui a valu son nom. L'azurite contient donc du cuivre.

Essai spectroscopique. — Il permet une analyse qualitative exacte des corps entre les fragments desquels on peut faire jaillir une étincelle électrique. On place deux parcelles maintenues par des pinces de platine en regard l'une de l'autre, puis on fait jaillir entre elles les étincelles fournies par un fort condensateur, et l'on observe le spectre ainsi produit avec un spectroscope. L'étincelle condensée donne les spectres des métaux et des métalloïdes, l'étincelle simple les principales raies des métaux seulement. On peut photographier ces spectres.

Spectres d'absorption. — On sait que la plupart des corps transparents absorbent de préférence les radiations de certaines couleurs. Celles-ci doivent donc manquer dans le faisceau émergent. Aussi, en regardant à travers un spectroscope, on constate leur absence dans le spectre, qui est comme traversé par un certain nombre de bandes obscures. La position, le nombre et l'intensité de ces bandes sont caractéristiques pour un certain nombre de minéraux.

Essais radiographiques. — Les rayons Rœntgen peuvent servir à certaines diagnoses. Le diamant peut être ainsi distingué de toutes ses imitations, parce qu'il est transparent pour ces radiations. En outre, on peut ainsi connaître la présence de certaines inclusions dans des minéraux opaques.

ORIGINE DES MINÉRAUX

Une étude sommaire des circonstances dans lesquelles se sont produites les diverses espèces minérales et les roches dans lesquelles on les rencontre est indispensable avant d'entrer dans leur description individuelle. Nous ne ferons que l'esquisser rapidement.

Le globe terrestre tout entier a dû se trouver primitivement à l'état de fluidité complète et porté à une température excessivement élevée. Sa forme sphéroïdale, son aplatissement aux pôles, l'élévation graduelle de température à mesure que l'on pénètre plus profondément dans l'écorce terrestre, les épanchements volcaniques dont on retrouve les traces à toutes les époques géologiques, les phénomènes sismiques et éruptifs contemporains concordent tous à faire considérer la terre comme une masse liquide isolée dans l'espace, animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe et présentement encore en voie de solidification.

Tant que la température fut trop élevée, les éléments chimiques ne purent contracter de combinaisons, et les divers corps simples se trouvaient mélangés à l'état de dissociation. Sous l'action de la pesanteur, les plus denses devaient naturellement se porter vers le centre, et les plus légers s'élever vers la surface.

Par suite du refroidissement, les combinaisons devinrent possibles. L'oxygène atmosphérique intervenant, la silice, l'alumine et les divers oxydes prirent naissance et se combinèrent dans des circonstances de température et de pression très favorables à la cristallisation. La pression en particulier devait être très considérable au début, l'atmosphère contenant alors à l'état de vapeurs la totalité des eaux actuellement répandues à la surface du globe. Telle fut l'origine des premières roches qui vinrent flotter à la surface, comme les scories qui recouvrent une coulée de métal en fusion.

La silice et ses combinaisons avec l'alumine et les bases alcalines plus légères devaient naturellement prédominer dans ces dépôts; aussi les désigne-t-on sous le nom de *roches acides.* Celles qui se déposèrent ensuite contenaient de la silice en moindre proportion combinée à la magnésie et à des oxydes de métaux lourds; on leur a donné le nom de *roches basiques.*

La condensation des eaux et les phénomènes mécaniques et météorologiques puissants des premiers âges vinrent remanier ces matériaux sous une forte pression et une température élevée, et amenèrent ainsi la formation de nouvelles roches d'origine sans doute détritique, caractérisées par une texture schistoïde et comme feuilletée, appelées *schistes.*

La prédominance dans toutes ces roches de la texture cristalline leur a fait donner le nom de *roches cristallophylliennes.*

Plus tard, quand la température se fut suffisamment abaissée, les eaux laissèrent déposer les matières qu'elles tenaient en solution et désagrégèrent les

diverses parties du squelette minéral primitif. Alors prirent naissance les roches dites *sédimentaires*. Celles-ci se distinguent des précédentes par deux caractères principaux. D'abord leur succession chronologique est inverse, car, tandis que, pour les roches primitives provenant du refroidissement direct, les plus anciennes sont en même temps les plus voisines de la surface, le contraire est vrai pour les roches sédimentaires, dont les plus anciennes sont recouvertes par les plus récemment déposées. Le second caractère des roches sédimentaires est de se présenter en *strates* ou couches d'épaisseur à peu près uniforme et généralement parallèles.

A mesure que la terre se refroidissait, des contractions et des retraits se produisirent en maints endroits. Les cavités ainsi formées furent injectées de matières fluides ou pâteuses venues de l'intérieur et formèrent des espèces de hernies qui, en se solidifiant, donnèrent naissance à une nouvelle espèce de roches dites *éruptives*.

Les épanchements effectués à air libre avec émission violente de gaz et de vapeurs et projection de matières incandescentes, constituent les éruptions volcaniques et produisent des roches de nature particulière.

A ces trois genres principaux il faut en joindre un quatrième, celui des roches *métamorphiques*. Elles proviennent d'une transformation des précédentes postérieure à leur formation soit sous l'action des roches éruptives qui les ont modifiées en s'altérant parfois elles-mêmes par contre-coup, soit sous l'influence de phénomènes mécaniques comme la pression, ou météorologiques comme la circulation d'eaux thermales. Dans ces conditions, elles ont changé de nature, et il s'est développé à leur intérieur et aux dépens de leurs éléments des minéraux dits *métamorphiques*. L'ensemble des causes susceptibles d'amener de pareilles transformations porte le nom de *métamorphisme*.

Des vapeurs d'origine interne chargées de chlorures et de fluorures de métaux lourds, en attaquant les parois des fractures et en réagissant sur les roches encaissantes, ont donné naissance à certaines espèces minérales telles que l'oxyde d'étain, le wolfram, etc., et engendré les gîtes d'*émanation*. La circulation d'eaux thermales chargées de sels a provoqué la formation des *filons métallifères*.

Enfin, lorsque la vie eut fait son apparition, des restes de végétaux et d'animaux enfouis ont été transformés et minéralisés en espèces nouvelles d'origine organique.

Ces phénomènes de transformation s'accomplissent encore pour la plupart actuellement sous nos yeux; mais telle est la brièveté de la vie humaine que leurs progrès nous échappent et qu'il nous est donné seulement de jouir des résultats du travail patient de la nature pendant des siècles accumulés.

PRINCIPAUX GROUPES MINÉRAUX

GROUPE DES SPINELLES

Il réunit un certain nombre d'aluminates, de ferrites et de chromites de protoxydes analogues à l'un d'eux qui a donné son nom au groupement, le *rubis spinelle*, ou plus simplement *spinelle*.

Les spinelles présentent les caractères généraux suivants :

1° Ce sont des combinaisons à molécules égales de sesquioxydes et de protoxydes de formule générale

$$RO,R^2O^3.$$

2° Ils cristallisent tous dans le système cubique avec *facies* octaédrique.

3° Ils peuvent tous présenter la même macle dite *des spinelles*, formée de deux portions d'octaèdre découpées par un plan parallèle à l'une des faces de ce solide, puis réunies après une rotation de 180° autour d'une normale à la face (fig. 70, et pl. V, fig. 13).

4° Ces composés sont parfaitement isomorphes, et par suite les cristaux ont en général une composition chimique complexe. On les rapporte à un certain nombre de types idéaux simples, que l'on distingue par la nature du protoxyde et du sesquioxyde.

Les protoxydes peuvent être ceux de magnésium, de fer, de calcium, de manganèse et de zinc; les sesquioxydes, ceux d'aluminium, de fer et de chrome. On obtient ainsi les types suivants :

MgO,Al^2O^3	Rubis spinelle ou spinelle.
FeO,Al^2O^3	Hercynite.
ZnO,Al^2O^3	Gahnite.
$MgO.Fe^2O^3$	Magnoferrite.
$ZnO.Fe^2O^3$	Franklinite.
$FeO.Fe^2O^3$	Magnétite.
$FeO.Cr^2O^3$	Chromite.

On ne les trouve pour ainsi dire jamais à l'état de pureté, mais toujours à l'état de mélanges isomorphes.

Les spinelles se rencontrent dans les schistes cristallophylliens, les serpentines et les roches volcaniques modernes. Plusieurs d'entre eux forment des parties constitutives de certaines roches.

Le *spinelle* proprement dit est considéré comme gemme et employé en joaillerie sous le nom de *rubis balais*.

GROUPE DES CARBONATES ORTHORHOMBIQUES

Les carbonates de plomb, de baryte, de strontiane et de chaux sont étroitement liés par un ensemble de propriétés communes.

1° Leur composition correspond à la formule générale MCO^3.

2° L'angle du prisme pris pour forme fondamentale oscille entre deux valeurs très rapprochées, 116° 16′ et 118° 30′.

3° Ils sont parfaitement isomorphes et peuvent cristalliser en toute proportion.

4° Ils sont tous négatifs au point de vue optique.

5° Leurs propriétés chimiques sont analogues, ils font effervescence avec les acides, et la solution obtenue est précipitée en blanc par l'acide sulfurique.

Ce groupe comprend :

La withérite	$BaCO^3$.
La cérusite	$PbCO^3$.
La strontianite	$SrCO^3$.
L'aragonite	$CaCO^3$.

Le plus remarquable de ces minéraux est l'aragonite; c'est une deuxième forme du carbonate de chaux, qui, rhomboédrique, constitue la calcite. C'est un cas typique de dimorphisme.

GROUPE DES CARBONATES RHOMBOÉDRIQUES

Il comprend les carbonates de magnésie, de chaux, de fer, de manganèse et de zinc, qui présentent les caractères généraux suivants :

1° Une forme cristalline commune. C'est un rhomboèdre dont l'angle générateur peut, selon les espèces, varier de 105° 5 à 107° 40'.

2° Un clivage commun parfait parallèle aux faces du rhomboèdre primitif.

3° Une constitution chimique répondant à la formule générale MCO^3.

4° Un éclat vitreux et une biréfringence négative.

5° Ils sont tous isomorphes.

Les différentes espèces sont :

La calcite	$CaCO^3$.
La dolomie	$CaCO^3 + MgCO^3$.
La giobertite	$MgCO^3$.
La dialogite	$MnCO^3$.
La sidérose	$FeCO^3$.
La smithsonite	$ZnCO^3$.

D'après certains minéralogistes, la dolomie ne doit pas faire partie de ce groupe; elle présenterait une hémiédrie analogue à la dioptase, de sorte que les scalénoèdres correspondant à ceux de la calcite ne seraient en réalité qu'une combinaison de deux rhomboèdres. De plus, sa densité trop élevée indiquerait une contraction du mélange isomorphe des deux carbonates. On a vu toutefois qu'il était légitime d'admettre comme isomorphes des corps ne présentant pas la même symétrie, pourvu que les dimensions de leurs formes fondamentales fussent suffisamment approchées.

On peut rattacher encore à ce groupe la *pistomésite,* la *mésitine* et la *breunérite,* mélanges isomorphes de sidérose et de *giobertite* en proportions définies.

L'existence du spath brunissant (pl. XII, fig. 2), contenant à la fois les carbonates de chaux, de fer et de magnésie, montre bien l'isomorphisme de ces trois substances.

GROUPE DES SULFATES ANHYDRES

Il est constitué de minéraux tous orthorhombiques et dont les formes primitives présentent des dimensions très voisines.

Ils se distinguent par les caractères communs suivants :

1° Une constitution chimique analogue représentée par la formule générale MSO^4.

2° L'angle des faces du prisme pris comme forme primitive est compris entre 101° 30' et 104° 30'.

3° Ils ont un clivage parfait suivant la base, et deux autres moins faciles parallèles aux faces du prisme.

4° Ils sont parfaitement isomorphes.

5° Ce sont des minéraux de filons.

Le groupe contient trois espèces :

La barytine	Sulfate de baryte.
La célestine	Sulfate de strontiane.
L'anglésite	Sulfate de plomb.

Bien que l'anhydrite, sulfate de chaux anhydre, se rapproche de ces substances par sa composition et cristallise dans le même système, néanmoins ses clivages sont différents ainsi que ses gisements, et il ne saurait faire partie de ce groupe.

GROUPE DES FELDSPATHS

Il comprend un certain nombre d'espèces très importantes par le rôle qu'elles jouent dans la constitution des roches. Leurs propriétés générales sont les suivantes :

1° Ce sont des silicates d'alumine et d'alcalis ou d'alcalino-terreux répondant à la formule générale

$$(R'^2,R'')O,Al^2O^3,nSiO^2,$$

dans laquelle n peut prendre les valeurs 2, 3, 4, 5, 6, suivant l'espèce considérée.

2° Leurs formes primitives sont des prismes tricliniques d'environ 120° excessivement voisins du prisme clinorhombique de l'orthose, avec lequel ils sont isomorphes.

3° Ils possèdent deux clivages, l'un basique, l'autre parallèle à un pinacoïde; leur angle, exactement de 90° dans l'orthose, est toujours très voisin de cette valeur.

4° Leur dureté est comprise entre 5 et 6, leur densité entre 2,50 et 2,75.

5° Ils ont tous l'éclat vitreux, un aspect lithoïde et une coloration peu prononcée.

6° Ils ont tous une origine analogue et entrent dans un grand nombre de roches comme éléments constitutifs. Citons les granites, les granulites, les leptynites et les pegmatites.

Les différentes espèces se distinguent entre elles : 1° par la valeur de n dans la formule générale; 2° par la nature des bases dominantes, potasse, soude ou chaux; 3° par l'angle des faces du prisme, qui peut varier de 119° à 121° 37'; 4° par l'angle des clivages intermédiaire entre 85° 50' et 90°.

Les principaux sont : l'*orthose,* à base de potasse $K^2O,Al^2O^3,6SiO^2$; le *microcline,* qui, outre de la potasse, contient de la soude $(K,Na)^2O,Al^2O^3,6SiO^2$; l'*albite,* à base de soude $Na^2O,Al^2O^3,6SiO^2$. On voit que pour ces trois espèces $n = 6$ dans la formule générale. L'*oligoclase* est à base de soude et de chaux $(Na^2Ca)O,Al^2O^3,4,5, SiO^2$ (ici $n = 4,5$), ainsi que le *labrador,* pour lequel $n = 3$, $(Na^2Ca)O,Al^2O^3,3SiO^2$. Enfin l'*anorthite* $CaO,Al^2O^3,2SiO^2$, pour laquelle $n = 2$.

L'orthose et le microcline ne diffèrent guère que par l'angle des faces de clivage.

Les formules données ici sont des formules typiques et idéales. En fait, sauf l'absence presque complète de la chaux dans les trois premières espèces, les deux autres bases sont toujours présentes en quantités variables.

Beaucoup de minéralogistes adoptent une classification fondée sur la forme cristalline et divisent les *feldspaths* en deux catégories : la première contient l'*orthose* seul, et la seconde tous les autres dits : *plagioclases.*

A l'étranger on adopte généralement la théorie de M. Tschermak, suivant laquelle les plagioclases seraient des mélanges isomorphes d'albite et d'anorthite. Quelques auteurs considèrent l'orthose et le microcline comme identiques; il en résulterait que tous les feldspaths seraient tricliniques.

Ce groupe fournit aux lapidaires des pierres d'ornement, la *pierre de soleil* et la *pierre de lune,* variétés d'orthose ou d'oligoclase, le *labrador* chatoyant et l'*amazonite,* variété verte de microcline.

GROUPE DES MICAS

Ce sont des silicates hydratés très complexes, mais possédant des propriétés physiques et cristallographiques très voisines. Ils sont en général très brillants quand ils sont en lames, d'où leur nom générique (de *micare,* briller).

Leurs caractères généraux sont les suivants :

1° Ce sont des minéraux constitutifs ou accessoires des roches acides telles que les granites, les granulites, les pegmatites, la protogyne, les gneiss, etc.

2° Ils sont tous en réalité clinorhombiques, mais, la base étant *très peu* inclinée sur les faces et les arêtes du prisme, ils diffèrent donc très peu de prismes orthorhombiques. De plus, l'angle plan des faces du prisme est d'environ 120°. Il en résulte que par la présence du clinopinacoïde ils présentent *sensiblement* la symétrie hexagonale.

3° Ils se clivent tous avec la plus grande facilité en lames parallèles à la base, ce qui permet d'en obtenir d'excessivement minces (mica quart d'onde).

4° Les micas sont remarquables par l'élasticité, la flexibilité et le pouvoir réflecteur considérable de leurs lames de clivage.

5° Ils ont des compositions très complexes et très variables, ce qui ne permet pas de leur assigner une formule générale. Toutefois ce sont des silicates d'alumine et d'alcalis contenant des oxydes de fer, de la magnésie et souvent du fluor.

On peut les diviser en : 1° *micas blancs* ou peu colorés, contenant, outre l'alumine, des alcalis (potasse, soude, lithium) et de la chaux; 2° *micas noirs* ou fortement colorés, contenant du fer et de la magnésie.

Micas blancs. — On les trouve en lamelles, en larges tables ou en masses de petites paillettes écailleuses, agglomérées, de couleur claire, quelquefois vert pâle, violacées ou rose-lilas.

Les principaux sont :

La muscovite.........	Mica potassique.
La lépidolite	Mica lithinifère.
La paragonite	Mica sodique.

Les micas blancs donnent de l'eau dans le tube fermé, de faibles quantités d'acide fluorhydrique, et fondent facilement au chalumeau.

Micas noirs ou ferro-magnésiens. — Ce sont des silico-aluminates d'alcalis, de fer et de magnésie. Ordinairement noirs ou brun foncé, ils peuvent être verts ou jaunes. Ils sont polychroïques et sont attirables à l'aimant.

Les principaux sont :

La biotite............	Mica ferro-magnésien.
La phlogopite........	Mica magnésien fluorifère.

La muscovite en larges lames a des emplois analogues à ceux du verre à vitres; le lépidolite est un minerai de lithine.

GROUPE DES PYROXÈNES

On a réuni sous ce nom un certain nombre de silicates analogues au *diopside*, nommé d'abord par Haüy *pyroxène*, de πῦρ, fer, et ξένος, étranger, parce qu'ayant constaté sa présence dans diverses laves il croyait qu'il n'y figurait qu'accidentellement. En réalité le diopside est, comme les autres minéraux du groupe, un des éléments les plus caractéristiques des roches basiques de formation ignée.

Les caractères généraux des pyroxènes sont les suivants :

1° Ce sont des silicates anhydres de protoxydes contenant quelquefois un peu de sesquioxyde de fer et d'alumine à l'état de mélanges, de formule générale $RO,SiO^2 + xAl^2O^3$, R représentant du fer, du magnésium et du calcium. Le calcium prédomine toujours, à l'inverse de ce qui a lieu pour les amphiboles.

2° Ils ont un clivage facile parallèlement aux faces d'un prisme dont l'angle varie de 67° à 93°.

3° Ils sont parfaitement isomorphes et passent les uns aux autres par une série de mélanges.

4° Ce sont des éléments essentiels des roches basiques. Au point de vue de la forme primitive, on les divise en trois groupes : les *pyroxènes* clinorhombiques, les *pyroxènes* orthorhombiques et les *pyroxènes* tricliniques.

Les *pyroxènes clinorhombiques* sont :

Le diopside.......	$(Ca,Mg)O.SiO^2$.
Le diallage........	$(Ca,Mg,Fe)O.SiO^2 + xAl^2O^3$.
L'augite..........	$(Ca,Mg,Fe)O.SiO^2 + x(Al.Fe)^2O^3$.

Le diallage présente une variété intéressante, l'*omphazite*.

Pyroxènes orthorhombiques. — Ils ne contiennent pas de quantités sensibles de sesquioxydes, ont une formule commune $(FeMg)O,SiO^2$ et se distinguent par la quantité de fer qu'ils contiennent. Ce sont :

L'enstatite.....	Moins de 5 % de fer.
La bronzite...............	De 5 à 14 % de fer.
L'hypersthène.............	Plus de 14 % de fer.

Les clivages caractéristiques sont difficiles, mais il y en a un parfait parallèle au brachypinacoïde.

Pyroxène triclinique. — On rattache aux pyroxènes la *rhodonite* MnO,SiO^3, exploitée en Russie dans les carrières de l'Oural, comme pierre ornementale.

GROUPE DES AMPHIBOLES

Il y a une grande analogie entre les amphiboles et les pyroxènes au point de vue de leur constitution chimique, de leurs propriétés générales et du rôle qu'elles jouent dans la constitution des roches.

Les amphiboles présentent les caractères suivants :

1° Ce sont des silicates anhydres de protoxydes, pouvant contenir à l'état de mélange de petites quantités d'alumine et de sesquioxyde de fer. La formule générale exprimant leur constitution est :

$$4RO,4SiO^2 + xR'^2O^3;$$

mais, à l'inverse de ce qui arrive pour les pyroxènes, la quantité de magnésie est toujours supérieure à celle de la chaux.

2° Leur forme primitive est un prisme de 124° environ.

3° Les cristaux sont généralement allongés suivant les arêtes de ce prisme.

4° Elles présentent deux clivages très faciles parallèlement à la direction d'allongement. Ces clivages déterminent dans les sections transversales deux systèmes de stries parallèles inclinés l'un sur l'autre de 124°; dans les sections longitudinales, deux systèmes de stries parallèles à la direction d'allongement.

5° Les amphiboles sont optiquement négatives et généralement très polychroïques.

6° Elles entrent dans la constitution d'un certain nombre de roches basiques, dont elles forment les éléments essentiels.

Les principales espèces de ce groupe sont :

La trémolite.......	$CaO,3MgO,4SiO^2$.
L'actinote.........	$CaO,3(Mg,Fe)O,4SiO^2$.
La hornblende.....	$CaO,3(Mg,Fe)O,4SiO^2 + x(AlFe)^2O^3$.

La *pargasite* est une variété de hornblende vert-céladon.

GRENATS

Ce groupement est très homogène. Les minéraux qui en font partie présentent les caractères généraux suivants :

1° Ce sont des silicates anhydres de protoxydes RO et de sesquioxydes R'^2O^3 représentés tous par la formule générale suivante :

$$3RO,R'^2O^3,3SiO^2.$$

2° Ils ont une origine et des gisements analogues, ce sont des silicates de métamorphisme.

3° Leurs cristaux sont des octaèdres, des dodécaèdres et des trapézoèdres cubiques plus ou moins modifiés.

4° Leur densité est comprise entre 3,4 et 3,7, leur dureté entre 6,5 et 7,5, leur indice de réfraction entre 1,764 et 1,825.

5° Ils constituent des mélanges parfaitement isomorphes de différents types.

Cette dernière propriété rend leur détermination exacte très ardue; il est souvent difficile de décider à quels types ils appartiennent réellement, tant est grande la facilité avec laquelle les différents oxydes se remplacent partiellement les uns les autres. On considère ordinairement les six types idéaux suivants selon que le métal du sesquioxyde est le fer, l'alumine ou le chrome, et celui du protoxyde le calcium, le magnésium, le manganèse ou le fer :

$3CaO,Al^2O^3,3SiO^2$	Grossulaire ou essonite.
$3FeO,Al^2O^3,3SiO^2$	Almandine.
$3MgO,Al^2O^3,3SiO^2$	Pyrope.
$3MnO,Al^2O^3,3SiO^2$	Spessartine.
$3CaO,Fe^2O^3,3SiO^2$	Mélanite.
$3CaO,Cr^2O^3,3SiO^2$	Ouwarowite.

Les grenats se rencontrent dans les schistes cristallophylliens, les gneiss et accidentellement dans les roches basiques alcalines. Dans les coupes de roches, on les distingue à leurs contours carrés ou hexagonaux, à leur forte réfringence, à leur défaut de clivage.

Le grossulaire est un élément accessoire des roches métamorphiques, particulièrement des calcaires cristallins; le spessartine des roches granitiques; le pyrope des roches magnésiennes basiques. L'almandine se présente dans toutes les roches mentionnées ci-dessus.

Ce sont les schistes cristallophylliens et les calcaires métamorphiques qui fournissent les plus beaux spécimens.

Le grossulaire, l'almandine, le pyrope et une variété de mélanite sont employés en joaillerie.

GROUPE DES ZÉOLITES

On réunit sous le nom de zéolites un nombre assez considérable de silicates hydratés qui présentent un certain nombre de caractères communs, sauf celui de la forme cristalline, qui varie beaucoup. Les principaux sont les suivants :

1° Une origine et des gisements communs. Ce sont, en effet, des éléments accessoires des roches basiques telles que les basaltes, des roches amygdaloïdes et des laves dont elles tapissent les vacuoles et les fentes. Elles se reproduisent encore actuellement par l'action des eaux thermales sur les parois lithoïdes des canalisations.

2° Toutes les zéolites contiennent de l'eau, qu'elles dégagent lorsqu'on les chauffe au tube fermé. Cette eau produit un boursouflement de la masse quand on fond le minéral au chalumeau. Le résultat de cette opération est un verre ou un émail blanc ou grisâtre.

3° Elles sont complètement décomposées par les acides, qui en séparent la silice sous forme pulvérulente ou gélatineuse.

4° Leur dureté est généralement faible et ordinairement comprise entre 4 et 6 de l'échelle de dureté de Mohs.

5° Leur composition, abstraction faite de l'eau qu'ils contiennent, est analogue à celle des feldspaths.

Les zéolites sont incolores ou grisâtres de nature, mais elles peuvent être accidentellement colorées en jaune ou en rouge par des oxydes de fer.

Une particularité des plus curieuses est la faculté qu'ont certaines d'entre elles de pouvoir perdre à la température ordinaire, dans l'air sec, la plus grande partie de leur eau, sans que pour cela leur aspect extérieur et la forme de leurs cristaux en soient altérés. Dans l'air humide, elles peuvent, et encore sans altération dans leur forme, reprendre cette eau au milieu ambiant. Pour exprimer ce phénomène on a imaginé le terme de *dissolution solide*.

Cette classe de minéraux est remarquable par l'élégance des groupements de ses cristaux, la netteté de leurs formes et leurs macles compliquées. Ils n'ont généralement pas d'applications. Leur faible dureté et leur altération à l'air sont les plus grands obstacles à leur emploi en bijouterie, auquel leur éclat et leur couleur sembleraient les désigner.

ASSOCIATIONS MINÉRALES

Les différentes espèces minérales ne se trouvent pas réunies au hasard. Certaines catégories paraissent, au contraire, avoir entre elles des affinités de voisinage telles que l'existence bien constatée des unes dans un gisement permet de conclure à la probabilité de rencontrer les autres à proximité. C'est ainsi que la présence du wolfram annonce presque toujours celle de la cassitérite, que la staurotide est souvent réunie au disthène et à la paragonite (mica de soude) au Saint-Gothard.

De nombreuses observations ont établi les groupes suivants :

1° Émeraude, apatite, minerais d'urane, orthose, albite, oligoclase dans les granites, avec, accidentellement, zircon, cymophane et grenat.

2° Topaze, tourmaline, grenat, émeraude, apatite, fluorine, cassitérite. Le quartz et la topaze forment une roche : la *topazozème*.

3° Lépidolite, tourmaline rouge, pétalite (minéraux lithinifères) dans les granites, avec grenat, staurotide, magnétite, scapolite, sphène et pyroxène.

4° Scapolite, hornblende, pyroxène, asbeste, sphène, zircon, graphite, grenat, tourmaline brune, idocrase, apatite, chondrodite, mica, fluorine, corindon, spinelle, rutile, fer spéculaire.

5° Talc, actinote, néphrite, dolomie, tourmaline.

6° Pyroxène, coccolite, colophonite (grenat), sphène, dans des marbres.

7° Éléotite, apatite, brookite, zircon, mica, dans les granites et les syénites.

8° Néphéline, hornblende, disthène, corindon, staurotide, dans les schistes micacés ou les gneiss.

10° Labrador, ilménite, magnétite, hypersthène.

11° Oligoclase, albite, sphène.

12° Serpentine, diallage, hornblende, pyroxène diopside, chromite, aragonite, grenat pyrope.

13° Cassitérite, wolfram, schéelite, molybdénite, pyrrhotine, tourmaline, fluorine, émeraude, topaze, apatite, lépidolite, bismuth natif, dans les granites et les gneiss.

14° Or natif, pyrite, chalcopyrite, galène, blende, rutile, magnétite, ilménite, oligiste, dans des veines de quartz au contact des schistes à chlorite; on trouve encore dans les mêmes régions le disthène, la brookite, la monazite, le grenat, le platine et le diamant.

15° Oligiste, sidérose millérite.

16° Oligiste ou magnétite, hornblende, épidote, mélanite (grenat), apatite, sphène, dans les gneiss ou les granites.

17° Franklinite, zincite, magnétite, hornblende, grenat, essonite, calcite.

18° Cobaltine, divers minerais de cobalt, pyrite magnétique, axinite, glaucodot, chalcopyrite.

19° Magnétite, dolomie, disséminées dans les schistes chloriteux.

20° Galène, minerais de plomb, pyrite, calcite avec gangues de barytine et de fluorine.

21° Argents rouges, chalcosine, argent natif, sidérose, galène argentifère, bournonite, arsenic natif, calcite, en veines dans les gneiss et les schistes métamorphiques.

22° Limonite, pyrolusite, cuprite, vivianite, kaolin, malachite, azurite, chalcopyrite.

23° Chalcosine, érubescite, cuivre natif, divers minerais de cuivre (la cuprite, la malachite et le cuivre natifs se rencontrent à la partie supérieure des filons).

24° Calamine, smithsonite.

25° Gypse, soufre, anhydrite, célestine, boracite, calcite.

CLASSIFICATION

Les différents systèmes de classification ont pour but de distribuer les espèces minérales en groupes successifs présentant des relations de plus en plus étroites jusqu'à ce qu'on arrive à l'*espèce* elle-même.

Rappelons que l'on appelle *espèce minérale* l'ensemble des individus doués de *même constitution chimique, de forme cristalline identique* et de *propriétés physiques analogues.*

Une classification est *artificielle* si elle vise spécialement à différencier les espèces de telle sorte que l'on puisse surtout reconnaître et nommer l'une quelconque d'entre elles le plus rapidement et le plus facilement possible. Dans ce cas, les caractères dont la constatation est la plus aisée priment *arbitrairement* tous les autres, et les propriétés physiques ainsi que les propriétés organoleptiques acquièrent ici une importance prépondérante.

Dans une classification *naturelle,* au contraire, on doit non seulement tenir compte de l'ensemble des propriétés du minéral, mais encore les subordonner à leur importance relative. On crée ainsi différents groupes ou familles naturelles dont les termes présentent entre eux des ressemblances de plus en plus profondes.

Une classification idéale serait celle qui assignerait à chaque espèce une place unique qu'elle tiendrait de l'ensemble de ces caractères considérés successivement d'après leur ordre d'importance.

Malheureusement il n'en peut être ainsi dans la réalité, et, suivant que l'on attribue à telle propriété une sorte de suprématie sur telle autre, le système de classement peut être totalement transformé et se trouve de ce fait lié aux progrès de la science.

Aussi les classifications imaginées successivement sont-elles très nombreuses. On peut les ramener cependant à trois types principaux : 1° celles qui sont fondées sur les caractères physiques, mécaniques et organoleptiques; 2° les classifications d'ordre purement chimique; 3° les classifications éclectiques. *A priori,* les classifications naturelles appartiennent à cette dernière catégorie.

La première classification véritablement scientifique fut donnée vers 1798 par Werner, savant professeur de minéralogie de Freiberg.

Elle était fondée sur la considération des propriétés extérieures et sur les données encore rudimentaires à cette époque de la chimie, mais elle ne tenait aucun compte de la forme cristalline. Elle présentait surtout le défaut capital de ne pas donner de définition précise de l'*espèce* et de distinguer celle-ci, tantôt par des caractères purement physiques, tantôt par des caractères chimiques. Les minéraux étaient ainsi divisés en quatre classes : 1° les terres et les pierres; 2° les sels; 3° les combustibles; 4° les substances métalliques.

Ces classes se subdivisaient en genres et en familles d'après les caractères extérieurs.

A cette classification éminemment éclectique, Mohs en opposa une autre, basée exclusivement sur les caractères physiques et organoleptiques, et il sut en tirer un remarquable parti, puisqu'il affirmait que l'analyse chimique n'était pas nécessaire à la détermination des espèces.

Il les divisait en *classes,* en *ordres* et en *genres.*

Les ordres se composaient d'espèces ayant entre elles une communauté de propriétés faciles à reconnaître et que rappellent les termes de *barytes,* de *micas,* d'*haloïdes,* de *spaths,* de *gemmes,* de *résines,* etc.

Les noms de genres étaient formés de deux mots dont l'un était celui de la famille. L'ordre des *haloïdes,* par exemple, comprenait les genres *gypse haloïde, fluor haloïde,* etc. Enfin les noms d'espèces se composaient de celui du genre et d'un qualificatif rappelant le mode de cristallisation, comme fluor haloïde octaédrique (fluorine), *fluor haloïde rhomboédrique* (apatite), etc.

Une telle classification est essentiellement artificielle, et elle a été complètement abandonnée.

Berzélius envisage les espèces au point de vue purement chimique. Il les divise en deux grandes classes, dont la première contient les minéraux de nature inorganique, la seconde ceux d'origine organique.

Les minéraux inorganiques sont divisés en 18 familles, caractérisées chacune par la présence d'un corps électronégatif. Celle des corps oxygénés comprend, outre les oxydes et les sels oxygénés, tous les silicates, divisés eux-mêmes en groupes suivant qu'ils contiennent une ou plusieurs bases, ou encore si l'acide silicique est copulé avec d'autres acides analogues. Le

nombre de corps appartenant à cette famille est hors de proportion avec celui des autres.

Beudant, en 1830, se basant aussi sur des considérations d'ordre purement chimique, divisa les espèces minérales en trois groupes, suivant la nature des produits résultant de leur attaque par les acides.

La première classe, celle des *gazolytes,* comprend toutes celles qui sont susceptibles de donner un gaz hydrogéné ou fluoré par suite de la présence d'un élément électronégatif tel que le silicium, le phosphore, le brome, le soufre, etc. Les substances de la seconde classe ou *leucolytes* ne renferment aucun élément capable de produire la réaction précédente, mais forment avec les acides des solutions incolores. Les minéraux contenant de l'antimoine, du zinc, du plomb, du magnésium, etc., en font partie.

Enfin les *chroïcolytes* ne diffèrent des *leucolytes* que parce qu'en se dissolvant ils donnent des produits colorés.

Une pareille classification est évidemment artificielle, car il y a, par exemple, plus de différence entre l'argent, corps simple, et l'argyrose (sulfure d'argent), leucolytes tous deux, qu'entre l'argent et le cuivre, corps simples dont l'un fait partie du groupe des *leucolytes* et l'autre de celui des *chroïcolytes.*

Delafosse, après avoir d'abord divisé les minéraux en quatre groupes, les réduisit à trois : 1° combustibles non métalliques; 2° combustibles métalliques; 3° non combustibles. Chaque famille était caractérisée par la présence d'un élément électronégatif et était divisé en tribus d'après la forme cristalline, et en sous-tribus d'après les types de constitution chimique.

Une classification *éclectique* très usitée aujourd'hui est celle de Dana. Les groupements principaux sont fondés sur la constitution chimique. Chacun d'eux est subdivisé en genres d'après le type de la formule chimique. Enfin, les familles sont déterminées par le système cristallin.

Voici le squelette de cette classification :

I. *Eléments natifs.*

II. *Sulfures, tellurures, séléniures, arséniures, antimoniures.*

1° Sulfures, etc., de demi-métaux;

2° Sulfures, etc., des métaux proprement dits.

III. *Sulfosels.* Sulfo-arsénites, sulfo-antimonites, etc.

IV. *Haloïdes.* Chlorures, bromures, iodures, fluorures.

V. *Oxydes.* 1° Variétés de silice ; 2° oxydes de demi-métaux; 3° oxydes des métaux proprement dits : *a*) anhydres, *b*) hydratés.

VI. *Sels oxygénés.* 1° Carbonates; 2° silicates; 3° niobates et tautalates; 4° phosphates, arséniates, antimonites, arsénites, nitrates; 5° borates, uranates; 6° chromates, sulfates, tellurates, tellurites, sélénites; 7° tungstates, molybdates.

VII. *Sels organiques.*

VIII. *Composés hydrocarbonés.*

Chacun de ces chapitres est divisé en plusieurs sections suivant que les corps sont anhydrides ou contiennent de l'eau. Les silicates sont subdivisés d'après leur teneur en silice.

Enfin, M. de Lapparent a imaginé un mode de classification naturelle très rationnel fondé sur des considérations géologiques, et dans lequel les espèces minérales sont classées d'après leur origine, leur rôle dans la constitution de l'écorce terrestre, et les analogies de leurs conditions de formation et de gisements.

Il considère quatre groupes principaux :

I. Éléments constitutifs des roches fondamentales.

II. Éléments des gîtes minéraux.

III. Minerais métalliques.

IV. Combustibles minéraux.

Le premier groupe comprend tous les silicates, exception faite de ceux qui peuvent être mis au nombre des minerais. Il se subdivise lui-même en trois *ordres* comprenant :

1° Les silicates des roches acides;

2° Les silicates des roches basiques;

3° Les silicates de métamorphisme.

Chacun de ces ordres contient deux *classes.* Les deux premiers sont divisés en *silicates essentiels* et en *silicates accessoires,* le troisième en *silicates exclusivement alumineux* et *silicates non exclusivement alumineux.* Dans chaque classe se groupent un nombre variable de familles.

Le second groupe contient deux *ordres :*

1° Celui des *oxydes et oxysels non métallifères,* groupés suivant la nature de l'acide ou du corps le plus électronégatif et comprenant un certain nombre de familles naturelles.

2° L'ordre des *sels haloïdes,* chlorures et fluorures.

Le troisième groupe est divisé en deux *ordres :* 1° celui des *minéralisateurs;* 2° celui des *minerais métalliques* proprement dits.

Par minéralisateurs, on entend un certain nombre de substances solides à la faveur desquelles les métaux lourds peuvent prendre la forme de *minerais.* Ils sont divisés en deux *classes : a*) les *minéralisateurs* proprement dits, qui peuvent former avec les métaux des combinaisons non oxygénées et dont les principaux sont le soufre, l'arsenic, l'antimoine ; *b*) les métaux acidifiables comme le chrome, le tungstène et le manganèse, susceptibles de donner des acides qui, combinés aux métaux, produisent des minerais. Cette classe est divisée en *genres* correspondant à chaque sorte d'acide métallique.

Le deuxième ordre comprend les minerais employés par l'industrie à l'extraction des métaux. Ils sont rangés suivant la nature de l'élément pour lequel on les exploite.

Le quatrième groupe, enfin, contient les minéraux d'origine organique, l'ambre, les résines, les bitumes et les sels à acide organique, comme la mellite.

Cette classification, aussi rationnelle qu'on peut le désirer dans l'état actuel de nos connaissances, présente cependant encore des inconvénients. Un des principaux provient de l'indétermination du terme *minerai,* qui, par exemple, détache un peu arbitrairement peut-être la rhodonite, la dioptase, la calamine et la chamoisite du groupe des silicates, pour les rattacher aux minerais de manganèse, de cuivre, de zinc et de fer.

D'ailleurs ces difficultés se retrouvent dans toutes les classifications naturelles, la nature ne s'astreignant pas aux cadres que la raison humaine voudrait pouvoir lui imposer.

Remarques. — L'une des principales difficultés qui s'opposent à la classification provient de l'incertitude où l'on est de la constitution exacte de certains minéraux. Il y a des groupes parfaitement définis par leurs

propriétés physiques et leur rôle géologique, dont les différents termes varient au point de vue de leur composition chimique dans des proportions telles qu'il est bien difficile, sinon impossible, de se faire une idée exacte de celle-ci.

Citons comme exemple les tourmalines, qui se groupent autour de cinq types principaux : I. T. magnésiennes; II. T. ferromagnésiennes; III. T. ferrifères; IV. T. ferromanganésiennes lithinifères; V. T. manganésiennes lithinifères.

L'analyse chimique a démontré l'existence possible dans ces minéraux des corps suivants : silice SiO^2, alumine Al^2O^3, sesquioxyde de manganèse Mn^2O^3, sesquioxyde de fer Fe^2O^3, protoxyde de fer FeO, magnésie MgO, chaux CaO, soude Na^2O, lithine Li^2O, potasse K^2O, anhydride borique Bo^2O^3, anhydride phosphorique P^2O^5, fluor Fl.

Un échantillon de chacune de ces variétés a donné les résultats suivants :

	SiO^2	Al^2O^3	Mn^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MgO	CaO	Na^2O	Li^2O	K^2O	Bo^2O^3	P^2O^5	Fl
I.	38,08	34,21	»	1,43	»	11,22	0,61	2,37	»	0,47	9,39	0,12	2,10
II.	37,70	34,35	»	4,63	0,25	9,51	1,25	2,00	»	0,43	7,36	0,11	2,23
III.	35,74	34,40	»	7,61	8,60	1,76	0,86	1,02	»	0,47	8,00	»	1,54
IV.	38,19	39,16	4,26	3,14	»	1,00	0,84	2,40	0,74	0,34	7,58	»	2,35
V.	36,38	43,97	2,60	»	»	1,62	0,62	1,97	0,48	0,81	7,41	0,27	2,47

En prenant les rapports d'oxygène moyens correspondants à une série d'analyses analogues pour chacun des types, on est arrivé aux résultats suivants :

	BASES DE PROTOXYDE	BASES DE SESQUIOXYDE	SILICE	ACIDE BORIQUE
T. magnésiennes	1	3	4	1
T. ferromanganésiennes	1	4	5	1
T. ferrifères	1	6	6	2
T. ferro-mangan. lithin.	1	9	9	2
T. manganésien. lithinif.	1	12	12	4

Quels sont les éléments essentiels du groupe? Quel rôle les différents métaux y jouent-ils? Quelle est la nature des liens atomiques qui les relient dans les différentes molécules qui composent le cristal? Autant de questions auxquelles il est impossible actuellement de répondre avec certitude : autant d'échantillons, autant de pourcentages différents.

C'est ainsi qu'on peut être amené à ranger la dioptase $SiO^2,CuO,2H^2O$ soit parmi les silicates anhydres, soit parmi les silicates hydratés, suivant que l'on considère son eau comme jouant le rôle de base ou simplement comme eau d'hydratation.

Quelques minéralogistes éminents, entre autres M. Tschermak, expliquent la diversité de composition des individus d'une même espèce par une large application du principe de l'isomorphisme; mais ils sont parfois amenés à admettre l'équivalence de groupements hétérogènes absolument arbitraires et imaginés simplement dans le but de ramener les données analytiques à un même type idéal.

Au point de vue purement chimique, il est bien difficile d'admettre l'équivalence du fluor et de l'oxygène dans la topaze et la tourmaline, celle des métaux alcalins monovalents, et des métaux alcalinoterreux bivalents dans les feldspaths.

Ordre suivi dans les descriptions. — Dans l'étude sommaire des principales espèces minérales, sans nous astreindre à suivre un système de classification déterminé, nous adopterons l'ordre suivant, en les partageant en cinq groupes principaux :

I. *Métalloïdes et leurs combinaisons.*

II. *Composés des métaux proprement dits*, pris, autant qu'il est possible, dans leur ordre d'altérabilité. A la suite des métaux acidifiables nous ferons figurer le bore. Ce groupe comprendra les espèces suivantes :

Or. — Or natif.

Argent. — Argent natif, argyrose, argyrythrose, proustite.

Mercure. — Mercure natif, cinabre.

Cuivre. — Cuivre natif, cuprite, chalcosine, chalcopyrite, malachite, azurite, atacamite.

Plomb. — Galène, pyromorphite, mimétèse, mélinose.

Zinc. — Blende, zincite, smithsonite.

Fer. — Pyrite, marcasite, oligiste, magnétite, franklinite, hématite rouge, hématite brune, gœthite, limonite, sidérose, pyrrhotine, vivianite, scorodite.

Cobalt. — Erythrine.

Manganèse. — Pyrolusite, acerdèse, psilomélane, dialogite.

Aluminium. — Corindon et ses variétés, spinelle, hercynite, pléonaste, gahnite, wavellite.

Tungstène. — Wolfram, schéelite.

Chrome. — Crocoïse.

Urane. — Chalcolite.

Bore. — Boracite.

Calcium. — Calcite, aragonite, anhydrite, gypse, fluorine, apatite.

Magnésium. — Dolomie.

Baryum. — Withérite, barytine.

Strontium. — Célestine.

Glucinium. — Cymophane, émeraude.

III. *Silice, ses variétés* et *oxydes* de constitution analogue.

Silice. — Quartz et ses variétés, opale.

Zircone. — Zircon.

Oxyde de titane. — Rutile, sagénite, anatase.

Oxyde d'étain. — Cassitérite.

IV. *Silicates* qui seront classés suivant la nature des bases dominantes quand on ne pourra les rattacher à des groupes naturels bien caractérisés. Ils seront décrits dans l'ordre suivant :

Silicates d'alumine. — Andalousite, chiastolite, disthène.

Silicates complexes avec alumine dominante. — Staurotide, topaze, tourmaline, rubellite, idocrase, cordiérite, épidote, prehnite.

Grenats. — Almandin, grossulaire, ouwarowite, mélanite.

Silicates avec alumine et chaux dominantes. — Zoïsite, scapolite, gehlénite.

Silicate de chaux. — Wollastonite.

Silicate de chaux et de fer. — Ilvaïte.

Silicate de magnésie et de fer. — Péridot.

Silicates d'alumine et d'alcalis. — Leucite, néphéline.

Sulfosilicates. — Haüyne, lapis-lazuli, helvine.

Silicate de cuivre. — Dioptase.

Feldspaths. — Orthose, amazonite, albite, labrador.

Micas. — Biotite, muscovite, lépidolite.

Silicates hydratés alumineux et magnésiens, analogues aux micas. — Chlorite, ottrélite, talc, pyrophyllite, serpentine.

Borosilicate. — Axinite.

Pyroxènes. — Diopside, omphazite, augite, acmite, bronzite, hypersthène.

Amphiboles. — Trémolite, actinote, pargasite, hornblende, anthophyllite.

Silicates rattachés aux pyroxènes et aux amphiboles. — Asbeste, crocidolite, néphrite, jadéite.

Silicotitanate. — Sphène.

Zéolites. — Mésotype, analcime, chabasie, stilbite, harmotome, desmine, phillipsite.

Minéraux d'origine organique. — Ambre, ozokérite.

GÉNÉRALITÉS SUR LES PRINCIPALES ROCHES

On a vu précédemment que, d'après leur origine, il y avait lieu de distinguer : 1° les *roches fondamentales;* 2° les *roches sédimentaires;* 3° les *roches éruptives;* 4° les *roches métamorphiques.*

Elles sont toutes constituées par des mélanges de matières minérales individuellement étudiées par la minéralogie proprement dite.

On peut diviser les minéraux contenus dans une roche en trois groupes :

1° Les *m. essentiels,* qui par leur prédominance lui impriment ses caractères distinctifs.

2° Les *m. accessoires,* qui n'y apparaissent pour ainsi parler qu'exceptionnellement et dont la quantité est en général si faible qu'elle ne saurait influer d'une manière sensible sur sa composition chimique moyenne.

3° Les *m. accidentels,* que l'on y rencontre seulement à l'état sporadique.

Les roches sont classées d'après la nature de leurs éléments essentiels. Ils peuvent s'y présenter sous quatre états différents : en *cristaux,* en *microlites,* en *cristallites* et en *substance vitreuse.*

Les *cristaux* sont entiers quand ils se sont disposés dans un milieu qui n'a pas subi d'altérations ultérieures; ils sont en fragments si, postérieurement à leur formation, le milieu ambiant a éprouvé des modifications sous l'influence de phénomènes mécaniques ou calorifiques. Ceux qui possèdent leurs formes polyédriques propres se sont évidemment formés avant ceux qui les enveloppent, lesquels se sont pour ainsi dire moulés sur eux.

Les *microlites* sont des milieux cristallins de très petites dimensions, dont la structure régulière interne se manifeste par une action sur la lumière polarisée et qui présentent des directions d'extinction invariables, mais qui n'ont point acquis de formes polyédriques propres. Ils peuvent dans certains cas se grouper suivant les rayons d'une sphère. Chacun d'eux occupant une position déterminée, leur ensemble donne la croix noire des uniaxes. Les amas sphériques prennent le nom de *sphérolites.*

Les *cristallites* sont des corps amorphes microscopiques dont on constate la présence toutes les fois que la cristallisation s'est trouvée gênée par une cause quelconque. On les considère comme les éléments irréductibles de toute cristallisation. D'après leur forme ellipsoïdale, allongée ou arborescente, on les appelle *globulites, longulites* ou *trichites.*

La *substance vitreuse* est amorphe, isotrope et absolument analogue à du verre, quelle que puisse être sa composition chimique.

Consolidation. — Dans une même roche les minéraux n'ont pas toujours cristallisé ensemble; les uns se sont séparés du milieu avant les autres. Bien plus, une même espèce peut s'être déposée en plusieurs fois et présenter alors des caractères différents. On exprime ce fait en disant qu'elle est de *première* ou de *seconde consolidation.*

Texture. — L'un des caractères les plus importants d'une roche est sa *texture,* qui désigne à la fois la grandeur relative, l'état cristallin plus ou moins avancé des éléments essentiels et leur mode de répartition dans sa masse.

Une roche peut être *holocristalline,* c'est-à-dire entièrement composée d'éléments cristallisés, comme les granites et les pegmatites; *hypocristalline,* quand elle est constituée d'un mélange de cristaux bien développés et d'une masse amorphe; enfin *vitreuse* ou *amorphe,* comme les verres artificiels.

Quand tous les cristaux élémentaires d'une roche holocristalline présentent un développement analogue et qu'ils sont uniformément répartis dans sa masse, cette roche possède la *texture granitoïde,* c'est-à-dire semblable à celle du *granite.*

Dans la texture *porphyroïde* on distingue des cristaux parfaitement caractérisés ou *phénocristaux* englobés dans une pâte soit microcristalline, formée de petits cristaux de même nature, mais très petits, soit amorphe comme dans les porphyres vrais. Cette texture indique que la cristallisation s'est opérée en deux temps.

La *texture vitreuse* est susceptible de présenter plusieurs variétés : la *texture fluidale,* manifestée par des zones de colorations diverses, résulte de la solidification subite d'une substance pâteuse; la *texture perlitique* présente des fentes de retrait circulaires ou spiralées; la *texture cristallitique* est caractérisée par la présence d'un grand nombre de cristallites provenant d'une dévitrification.

La *texture schistoïde* se présente dans les roches divisibles en feuillets suivant une direction générale plane comme les ardoises. Il peut arriver qu'à cette disposition ne corresponde pas une division mécanique facile : tel est le cas des gneiss; mais elle est mise en évidence par la disposition en couches ou en lits de certains éléments, comme le mica.

La *texture trachytique* caractérise les roches poreuses, à cassure raboteuse, au toucher âpre. Celles-ci sont composées de grains laissant des vides entre eux.

Enfin la *structure bréchiforme* est celle des roches détritiques formées de fragments volumineux réunis entre eux par un ciment de consolidation postérieure à leur formation.

Méthodes de détermination. — L'analyse chimique totale d'une roche ne peut donner que des résultats très incertains, sauf dans le cas où elle est pure et ne contient qu'un seul élément, ce qui est très rare.

En général la composition moyenne ainsi obtenue peut provenir d'associations très dissemblables. C'est ainsi qu'en fondant un mélange de *microcline* et de *biotite,* on obtient un culot contenant de la leucite, du péridot, de la silice et de la magnétite. Les différents corps simples se sont groupés d'une autre façon.

La séparation préalable des divers éléments donne

des résultats moins défectueux, mais elle est longue, pénible et peu rigoureuse. On peut bien à la loupe ou au microscope discerner les éléments de grande taille, mais la nature d'une pâte microcristalline ou vitreuse échappe quelquefois à ce moyen d'investigation.

Pour effectuer un triage on peut commencer par pulvériser la roche, passer la poussière obtenue dans des tamis de mailles de plus en plus fines, et examiner séparément les diverses poudres ainsi obtenues. Cordier, le premier, a opéré l'extraction des minerais riches en fer à l'aide d'un aimant, et Fouqué a perfectionné cette méthode en se servant d'un électroaimant de puissance variable, ce qui lui a permis d'obtenir séparément les espèces d'après leur teneur en fer.

Enfin, une lévigation méthodique effectuée avec des liquides de densités différentes, comme la solution d'iodomercurate de potasse, celle de tungstoborate de cadmium, les mélanges fondus de chlorure de zinc et de plomb, donne le moyen de séparer assez exactement les corps élémentaires de poids spécifiques déterminés.

A ces moyens mécaniques M. Fouqué a joint un mode d'extraction chimique fondé sur l'action de l'acide fluorhydrique concentré. Les silicates vitreux sont attaqués d'abord, puis les silicates acides, en dernier lieu les silicates basiques. Certaines substances telles que le corindon, le rutile, l'andalousite, restent comme résidu. Une digestion prolongée avec l'acide chlorhydrique laisse intact le zircon et désagrège lentement les micas.

Les grains homogènes ainsi obtenus et nettoyés sur la platine du microscope peuvent y être soumis à des réactions microchimiques à l'aide de réactifs sensibles, ce qui permet de déceler la présence d'un grand nombre de corps simples.

Mais la véritable méthode de détermination pétrographique consiste dans l'examen de plaques minces à faces parallèles au microscope polarisant. On les obtient en usant successivement sur ses deux faces un fragment de la roche à étudier sur un disque métallique animé d'un mouvement de rotation et enduit d'une poudre d'émeri ou de potée d'étain humectée d'eau. Elles doivent avoir environ un cinquantième de millimètre d'épaisseur et présentent en lumière polarisée une sorte de marqueterie où chaque minéral prend une teinte différente suivant sa nature et son orientation. On étudie successivement chacune des plages homogènes d'après la méthode esquissée dans un article précédent (détermination des minéraux).

L'uniformité d'épaisseur permet de comparer facilement les biréfringences au moyen de l'échelle de Newton et de déterminer les clivages qui se manifestent par des systèmes de fines stries parallèles. En particulier, il est très aisé de distinguer les macles et de les reconnaître par les directions d'extinction angulaires relatives aux différentes parties d'une même plaque minérale. Des tables dressées à l'avance permettent de savoir entre quelles limites peuvent varier les angles d'extinction correspondant à une macle donnée suivant l'orientation du minéral.

Si l'on emploie de très forts grossissements, on peut étudier en outre la nature de la pâte vitreuse s'il y en a une, y distinguer les *cristallites*, les *globulites*, les *trichites*, enfin des inclusions solides, liquides ou gazeuses.

Constitution des roches. — Les principaux éléments constitutifs sont la silice, les feldspaths, les pyroxènes, les amphiboles et des pâtes silicatées amorphes.

La silice et l'orthose jouent en particulier un rôle prépondérant, si bien que l'on a pu effectuer une division fondée sur la présence ou l'absence de ces deux espèces. Dans les feldspaths on fait souvent la distinction de l'orthose d'avec les plagioclases, qui jouent généralement un rôle analogue.

ÉTUDE SOMMAIRE DE QUELQUES ROCHES

Gneiss. — Ce sont des roches anciennes à texture schistoïde.

Éléments essentiels. — Feldspath (orthose ou plagioclase, suivant les types), quartz, mica.

Le feldspath domine; le quartz, en grains irréguliers, forme environ le quart de la masse totale; le mica, en lamelles déchiquetées, entre en proportion variable de 10 à 30 p. 100.

Éléments accessoires ou accidentels. — Pyroxène diopside, amphibole, hornblende, actinote, cordiérite, andalousite, disthène, sillimanite, staurotide, épidote, sphène, zircon, spinelle, magnétite, grenat rouge, saphir, rutile, molybdénite, apatite.

Les éléments accessoires peuvent, dans certains cas, s'y rencontrer en telle abondance qu'ils donnent lieu à des variétés, les *G. amphiboliques,* les *G. pyroxéniques,* les *G. à cordiérite,* etc.

La caractéristique des gneiss est leur texture schistoïde, qui les différencie des granites constitués des mêmes éléments. Elle est causée par l'inégale répartition dans la masse, du mica, dont les lames uniformément orientées forment des couches parallèles souvent contournées de diverses manières, alternant avec des lits de quartz et de feldspath. Cette disposition se remarque dans les coupes de la roche faites perpendiculairement à la schistosité (pl. XXV, fig. 1). Dans les coupes parallèles à cette direction, le mica paraît beaucoup plus abondant, les lamelles étant excessivement minces. Les gneiss rouges doivent leur coloration à l'orthose couleur de chair.

Ces roches ont longtemps été considérées comme les plus anciennes, car on a toujours constaté leur existence à la base des terrains cristallophylliens; mais il est plus vraisemblable de croire qu'elles résultent du remaniement de roches sédimentaires profondément modifiées sous des influences métamorphiques et leur contact avec les granites. La présence de nombreux minéraux accidentels de métamorphisme, grenats, andalousite, cordiérite, etc., donne un grand poids à cette manière de voir.

Leptynite. — C'est une variété de *gneiss* injecté de *granulite* à grains fins. Le facies de cette roche est souvent celui des grès, mais sa texture est véritablement schistoïde, comme le montre la fig. 2, pl. XXV, qui représente une section normale au sens de la schistosité.

Granites. — *Éléments essentiels.* — Feldspath, quartz, mica.

Éléments accessoires et accidentels. — Hornblende, pyroxène, tourmaline, cordiérite, pinite, albite, épidote, sphène, scapolite, émeraude, topaze, tourmaline, zircon, andalousite, fluorine, cassitérite, grenats, chalcolite, pyrite.

La cristallisation des divers éléments essentiels s'est

effectuée presque simultanément; toutefois le mica s'est consolidé le premier, le feldspath en second lieu, et le quartz le dernier.

Le feldspath peut être de l'orthose, de l'oligoclase ou du microcline; il est remarquable par son clivage net et son éclat perlé. Le quartz est informe, anguleux, à éclat vitreux ou gras, sans cassure nette. Le mica se présente en lames blanches, jaunes d'or, noires ou vertes, élastiques et facilement clivables à la lame d'un canif.

La texture normale de cette roche est bien définie et a été prise comme type; les divers éléments essentiels y présentent à peu près le même développement. Il existe toutefois des variétés dues à des dimensions différentes et des dispositions particulières de ceux-ci. C'est ainsi que l'on distingue le *G. porphyroïde,* dans lequel les cristaux d'orthose sont exceptionnellement développés au milieu d'une masse entièrement formée de cristaux très petits, ce qui donne à la roche l'apparence d'un porphyre. Dans le *G. gneissique* ils sont en outre alignés. Dans le *G. orbiculaire* le mica s'est concentré en zones sphériques concentriques (pl. XXV, fig. 6). Quand les cristaux sont de faible dimension, on a des *microgranites.*

L'importance acquise par certains éléments accessoires peut aussi donner lieu à des variétés de constitution : tels sont les *G. chloriteux,* les *G. amphiboliques,* les *G. à cordiérite,* les *G. épidotifères,* les *G. graphitiques,* dans lesquels les minéraux correspondants remplacent plus ou moins le mica. Le *granite à deux micas* n'est qu'une variété de *granulite.*

Les granites sont des roches éruptives qui ne se sont jamais épanchées à la surface comme les laves modernes. La consolidation s'est effectuée lentement, protégée contre les refroidissements brusques par les terrains et les roches déjà formés, ce qui explique la cristallisation de leurs parties. Leur mode de répartition à travers les couches plus récentes montre que leur origine est due à une expansion du noyau fluide interne au milieu de celles-ci. Les érosions ont fait disparaître peu à peu les matériaux supérieurs et les ont mis à jour. Les massifs granitiques affectent ordinairement la forme de ballons ou de dômes, noms que portent les montagnes de ce caractère dans les Vosges et dans le Plateau central.

Granulites. — Ce sont des roches éruptives de couleurs généralement claires, très analogues par leur constitution avec les granites, mais d'une structure finement grenue qui leur a fait donner le nom de *granites à grains fins.*

Eléments essentiels. — Feldspaths (orthose dominant), quartz, mica blanc.

Les éléments accidentels sont sensiblement les mêmes que ceux des granites, seulement il y a prédominance des espèces dont l'origine est due à des vapeurs fluorées comme la cassitérite, le wolfram, la fluorine, la topaze, l'émeraude, le zircon, etc.

Le quartz et l'orthose se sont à peu près consolidés ensemble, en sorte que leurs grains s'enchevêtrent et se pénètrent. Ces roches ont dû être très fluides à l'origine, ce qui leur a permis de pénétrer intimement parmi les couches encaissantes et de faire subir à celles-ci de profondes modifications métamorphiques.

Le *granite à deux micas,* dans lequel le mica noir (biotite) est venu s'ajouter au mica blanc (muscovite), n'est qu'une granulite souvent associée aux gîtes d'étain.

Pegmatites. — Les pegmatites sont des roches éruptives holocristallines à gros éléments, contemporains des granites et des granulites avec lesquelles elles sont en rapport.

Eléments essentiels. — Feldspaths, quartz.

Elément accessoire. — Mica blanc.

Eléments accidentels. — Tourmaline, topaze, orthose, albite, émeraude, grenat, apatite.

Les feldspaths blancs, verts ou rouges sont lamellaires et présentent les clivages de l'orthose et du microcline; quelquefois le second prédomine sur le premier.

Le quartz est cristallisé en prismes à six pans inégaux terminés par une pyramide.

Feldspath et quartz ont généralement une orientation uniforme.

Le mica se présente tantôt en prismes hexagonaux, tantôt en groupements palmés; il est généralement peu abondant et peut dans quelques cas disparaître en totalité.

Les cavités de la roche sont souvent tapissées de cristaux appartenant à des espèces accidentelles telles que la tourmaline.

Dans la *pegmatite graphique,* les cristaux de quartz, généralement allongés, simulent une sorte de marqueterie présentant l'apparence de caractères hébraïques ou cunéiformes (pl. XXV, fig. 7).

Il faut rapporter au produit de décomposition des pegmatites les gisements de kaolin de Saint-Yrieix, près Limoges.

Syénites. — Roches à structure granitoïde.

Eléments essentiels. — Orthose, amphibole hornblende.

Eléments accessoires. — Oligoclase, quartz hyalin, mica biotite, augite, éléolite, zircon, sphène.

L'orthose s'y présente en masses lamellaires d'un rose de chair parfois bleuâtre et violacé; la hornblende, en prismes noirs ou vert foncé; l'oligoclase, quand elle est présente, existe à l'état de grains striés grisâtres.

La syénite de Plauen (pl. XXV, fig. 8) renferme environ 68 pour 100 d'orthose et 32 pour 100 de hornblende.

La *syénite éléolitique* et la syénite *zirconienne* sont des variétés dues à l'abondance des minéraux correspondants.

Ces roches sont employées comme pierres d'ornement, grâce à l'agréable contraste des couleurs de l'orthose rougeâtre et de la hornblende vert foncé.

La syénite zirconienne est ordinairement accompagnée de minerais de métaux rares tels que ceux de thorium, de lanthane et de niobium.

Diorites. — Roches à structure granitoïde d'un vert plus ou moins foncé ou d'un blanc moucheté de noir.

Eléments essentiels. — Oligoclase et hornblende.

Eléments accessoires. — Quartz, orthose, mica, labrador, pyroxène, épidote.

Minéraux accidentels. — Pyrite, magnétite, chlorite, pyrrhotine, calcaire.

La hornblende se présente en grains noirs ou vert foncé, prismatiques, à cassure lamellaire brillante; l'oligoclase, en grains blancs ou jaunâtres striés.

La variété quartzifère *tonalite* (pl. XXV, fig. 9) contient du quartz en grains grisâtres et du mica brun.

Gabbros. — Roches holocristallines à texture granitoïde.

Éléments essentiels. — Feldspath plagioclase et diallage.

Éléments accessoires. — Péridot et son produit d'altération la *serpentine.*

Le gabbro typique de Volsperdorf (Silésie) (pl. XXV, fig. 11) est un mélange de labrador blanc grisâtre, de diallage brun et de péridot noir.

On les envisage comme des roches de profondeur, qui ne se sont jamais épanchées à la surface. Leur contact avec les roches encaissantes a produit des phénomènes de métamorphisme intense qui ont provoqué dans leur masse la formation d'amphiboles et de pyroxènes.

Serpentines. — Roches schistoïdes, finement grenues ou massives, à surface vernissée ou fibreuse.

Élément essentiel. — Serpentine.

Élément accessoire. — Diallage.

Minéraux accidentels. — Grenats, chromite, magnétite.

Ordinairement d'un vert plus ou moins foncé, elles peuvent être rouges, brunes ou même d'un noir parfait. Leur éclat est terne ou résineux, et leur cassure esquilleuse.

Ces roches proviennent de la décomposition de minéraux riches en magnésie, tels que les pyroxènes et les amphiboles sous l'action prolongée de l'eau et de l'acide carbonique de l'air.

Les cristaux de péridot de Snarum, en Norvège, sont partiellement transformés en serpentine. La garniérite et la nouméite, hydrosilicates de magnésie nickélifères de Nouvelle-Calédonie, sont dans le même cas. Les serpentines contiennent souvent des masses considérables de chromite et de magnétite.

Porphyres. — On désigne sous le nom général de porphyres un ensemble de roches caractérisées par la présence dans leur masse d'une pâte amorphe, crypto ou microcristalline, englobant ou non des cristaux de dimensions quelconques à contours plus ou moins nets ou *phénocristaux.* Cette pâte présente une composition chimique analogue à celle des feldspaths; on peut l'envisager comme une sorte de feldspath fondu, et elle peut constituer la roche entière à elle seule.

Les phénocristaux sont généralement des feldspaths, des amphiboles, des pyroxènes ou du mica biotite.

On peut diviser les *porphyres* en trois groupes : 1° les *P. holocristallins,* qui ne sont à proprement parler que des variétés finement grenues de roches holocristallines auxquelles on les rapporte; ce sont les microgranites, micropegmatites; 2° Les *P. proprement dits* ou *porphyrites,* présentant des phénocristaux noyés dans une pâte pétrosiliceuse; 3° les *P. vitreux,* sans phénocristaux.

Les *porphyrites* sont essentiellement constituées de feldspath plagioclase, de hornblende, de biotite et de pyroxène.

La pâte amorphe est assez abondante et présente souvent la structure fluidale (pl. XXV, fig. 14).

Parmi ces roches on peut citer :

Le *porphyre à labrador,* constitué de cristaux de ce feldspath et d'une pâte noirâtre (pl. XXV, fig. 10);

Le porphyre *quartzifère,* présentant des cristaux de quartz avec orthose et oligoclase dans une pâte brun rouge, gris ou rougeâtre (pl. XXV, fig. 13 et 14);

Le *porphyre rouge antique,* constitué de feldspath rose en cristaux souvent accompagné de hornblende et d'apatite, dans une pâte rouge-sang (pl. XXVI, fig. 19);

Le *porphyre vert antique,* formé de cristaux de labrador enchâssés dans une pâte vert sombre, avec de petits cristaux d'augite (même figure).

On nomme porphyres bréchiformes des porphyres dont la masse primitive a été disloquée et dont les fragments ont été ensuite réunis dans une pâte de même nature, brunâtre, verdâtre ou rougeâtre (pl. XXV, fig. 15).

Les porphyres sont souvent employés comme matériaux de construction, à cause de leur résistance aux agents atmosphériques. Les obélisques, les statues, les sarcophages égyptiens, doivent leur parfaite conservation et leur durée à cette inaltérabilité.

Les *roches porphyriques vitreuses* principales sont : la pechstein, les perlites et l'obsidienne.

Pechstein, rétinite ou pierre de poix. — Roche vitreuse, fragile, translucide sur les bords, à cassure conchoïdale et à aspect résineux. Sa couleur varie en général du vert-olive au brun jaunâtre, mais elle peut être noire ou rouge, par suite de la présence d'oxyde de fer. Elle présente diverses variétés passant aux porphyres proprement dits et contenant des cristaux d'orthose assez nets ou des grains de quartz quelquefois globuleux et colorés par de l'oxyde de fer (pl. XXVI, fig. 16).

Perlites. — Roches vitreuses composées en partie d'éléments globuliformes constitués de lamelles à éclat gras disposées concentriquement comme les tuniques d'un oignon. Quelquefois ces globules sont pressés les uns contre les autres et acquièrent ainsi des contours polyédriques. Dans certains cas ils sont isolés au milieu d'une pâte contenant des cristallites (pl. XXVI, fig. 17).

Obsidienne ou verre des volcans. — C'est une sorte de feldspath fondu, analogue au verre, dans la masse duquel on peut, à l'aide de forts grossissements, distinguer des cristallites.

Elle est généralement d'un noir de poix, mais peut aussi être vert-bouteille ou gris blanchâtre. Grâce à sa propriété et à sa cassure conchoïdale, elle peut être facilement façonnée; aussi a-t-elle servi dans les temps préhistoriques, et actuellement encore chez les peuplades sauvages, à fabriquer des couteaux, des fers de flèches, etc. (pl. XXVI, fig. 18).

Roches basaltiques. — Ce sont des roches d'épanchement volcanique, émises depuis la seconde partie de l'ère tertiaire jusqu'à l'époque actuelle.

Elles sont caractérisées par leur structure compacte, leur forte densité voisine de 3, enfin par la prédominance du fer, de la chaux et de la magnésie dans leur constitution chimique. Leur couleur est toujours très sombre, noire ou gris bleuâtre.

Elles sont essentiellement formées d'une pâte de nature feldspathique, fortement chargée de chaux, résoluble seulement au microscope en microlites de labrador, d'anorthite, de pyroxène augite et de magnétite.

Cette pâte isolée constitue les *basaltes* proprement dits, si abondants dans le massif central et autour des volcans anciens et modernes.

Les *dolérites* contiennent, outre cette pâte, des cristaux de pyroxène, de péridot ou de feldspaths au moins visibles à la loupe, et souvent même à l'œil nu (pl. XXVI, fig. 21).

Les *mélaphyres* sont des basaltes datant de l'ère pri-

maire. Ils sont souvent remplis de vacuoles dans lesquelles se sont développés, postérieurement à leur formation, des cristaux de carbonates ou des zéolites (pl. XXVI, fig. 20).

Schistes. — Les schistes sont des roches argileuses, dures et fissiles, qui ont donné leur nom à la texture schistoïde. Ils sont composés de débris de roches soudés, agglomérés et transformés par le métamorphisme, qui a développé à leur intérieur et postérieurement à leur formation de nouvelles espèces minérales.

Calcaires. — Ces roches sont principalement composées de carbonate de chaux, qui en forme l'*élément essentiel.*

Les *minéraux accessoires* sont le mica, le talc, la serpentine et l'argile; les *minéraux accidentels,* le grenat, le pyroxène, la pargasite, l'albite, l'idocrase, le spinelle, le saphir, la pyrite et la magnétite.

Les calcaires présentent différentes structures et peuvent être lamellaires avec facettes de clivage distinctes, fibreux, saccharoïdes, compacts ou terreux.

Leurs colorations sont d'une grande variété : tantôt la masse est de teinte uniforme, tantôt les couleurs sont irrégulièrement distribuées en dessins souvent très compliqués, formés de taches et de veines enchevêtrées. Une disposition réticulaire leur donne parfois l'apparence de *brèches,* nom impropre sous lequel certaines espèces sont désignées dans l'industrie. Les colorations sont dues à l'inclusion des substances étrangères telles que l'hématite (rouge), les oxydes hydratés de fer et de manganèse (jaunes), des matières charbonneuses ou bitumineuses (noires), enfin à la présence des espèces accessoires énumérées plus haut.

Les calcaires cristallins, saccharoïdes et compacts, doués d'une certaine dureté, constituent les marbres, dont un grand nombre de variétés sont employées à la construction et à l'ornementation intérieure des édifices.

On doit vraisemblablement attribuer aux calcaires une origine métamorphique. Ce sont des roches sédimentaires devenues cristallines et minéralisées sous l'influence de phénomènes métamorphiques plus ou moins intenses qu'elles ont dû subir au contact des roches encaissantes. On ne les rencontre jamais en effet dans les gneiss ni dans les roches éruptives. Les plus anciens forment des amas lenticulaires dans les schistes cristallophylliens, les autres sont disséminés à tous les étages géologiques et présentent les caractères sédimentaires avec d'autant plus de netteté qu'ils sont plus récents.

Les calcaires saccharoïdes mélangés de mica et de talc, prennent le nom de *cipolins.* Le marbre pentélique à tons verdâtres qui a fourni aux Grecs les matériaux du Parthénon et des Propylées appartient à cette catégorie et doit ses reflets et sa couleur à des inclusions de chlorite.

Les taches vertes de l'*ophicalcite* (pl. XXVI, fig. 23) sont dues à de la serpentine.

Le calcaire coralloïde bigarré du dévonien (pl. XXVI, fig. 24) présente des plages de calcaire cristallin disséminées dans des schistes rouges ou verdâtres.

Les calcaires de l'époque carbonifère sont fréquemment colorés en noir par des inclusions de matières charbonneuses, comme les *calcaires* à *entroques* de Belgique et d'Angleterre, criblés de débris d'encrines (pl. XXVI, fig. 25).

Le marbre bariolé des Alpes présente des plages de diverses nuances entrecoupées de veines réticulées disposées sans ordre (pl. XXVI, fig. 26).

Le marbre coquillier est remarquable par de nombreux fragments de coquilles incorporés à la masse et qui ont conservé leur forme (pl. XXVI, fig. 27).

Le marbre ruiniforme des environs de Florence doit à des inclusions d'argile jaunâtre la marqueterie qui lui a valu son nom (pl. XXVI, fig. 29).

Enfin le caractère sédimentaire se manifeste au plus haut point dans les calcaires déposés par les eaux douces du Wurtemberg (pl. XXVI, fig. 28).

Poudingues. — Ce sont des conglomérats d'éléments détritiques, roulés, soudés intimement entre eux par un ciment. Celui-ci peut être de nature quelconque. La détermination d'une telle roche comprend à la fois celle des galets et celle de la matière qui les consolide.

DESCRIPTION

DES

PRINCIPALES ESPÈCES MINÉRALES

MÉTALLOÏDES ET LEURS COMBINAISONS

Diamant. — Carbone pur cristallisé ne donnant que de 5 à 20 dix-millièmes de cendres. Il est naturellement incolore, mais beaucoup d'échantillons sont teintés légèrement, d'autres doués de couleurs vives. Ils peuvent être jaunâtres, enfumés, bruns, noirs, mais il y en a de bleus, de verts, de rouge hyacinthe, de roses.

La coloration toutefois peut, dans certains cas, n'être que superficielle, et on peut la détruire en attaquant légèrement la surface. Les différentes teintes peuvent être atténuées ou même totalement modifiées, soit d'une manière transitoire, soit d'une façon permanente, par une élévation de température. C'est ainsi qu'un diamant vert clair peut devenir jaunâtre, ou de vert foncé devenir violet. On peut encore dissimuler la teinte d'un diamant défectueux en le recouvrant, par immersion dans un liquide approprié, d'une couche superficielle de substance présentant la teinte complémentaire.

Le diamant est le plus dur des corps et a été pris par Mohs pour dixième terme de son échelle. Cette dureté varie toutefois avec la provenance; les diamants de l'Inde sont les plus durs, puis viennent ceux du Brésil, enfin ceux du Cap. Cette variation a une grande importance au point de vue de la taille, car le temps nécessaire à l'obtention d'une facette artificielle peut varier de ce fait de trois heures à un jour.

La densité est de 3,52 à 3,60.

Le diamant cristallise dans le système cubique et présente l'hémiédrie tétraédrique. Il est *uniréfringent.* Toutefois certains échantillons polarisent la lumière, mais on explique ce fait en admettant dans les cristaux une *tension interne* qui les rend accidentellement *anisotropes.*

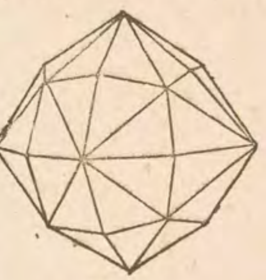
Son indice de réfraction est fort élevé, 2,42, et par suite l'angle limite est de 24° 14′. Ce fait explique sa dispersion tout à fait remarquable. Il possède un éclat gras caractéristique dit *adamantin.*

Le clivage a lieu suivant les faces de l'octaèdre; il est de la plus grande importance pour la taille, car le lapidaire en profite pour éliminer les parties défectueuses de la pierre qui lui est confiée. Toutefois, dans la variété *boort,* à cause de l'enchevêtrement des cristaux, ce clivage n'existe pas.

Chauffé dans un courant d'oxygène, il brûle lentement sans devenir incandescent, et le résultat de cette combustion est de l'anhydride carbonique. Dans l'arc électrique il se fragmente d'abord, puis se ramollit, et finalement se transforme en graphite.

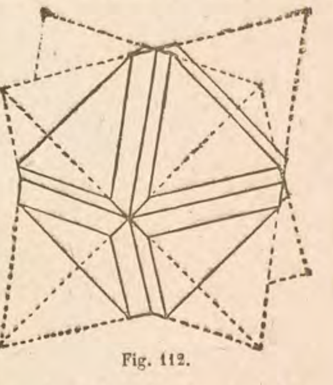
Il est inattaquable aux acides, même aux mélanges oxydants de chlorate de potasse et d'acide azotique ou d'acide sulfurique et d'acide chromique, qui attaquent les autres variétés de carbone. Il est toutefois rapidement dissous par l'azotate de potasse en fusion. On utilise même cette propriété pour *blanchir* certains échantillons du Brésil superficiellement colorés.

Diamant cristallisé en octaèdres et en cubes pyramidés souvent modifiés (fig. 113_1), rarement en cubes. On le trouve aussi en tétraèdres et en hexatétraèdres et en hexoctaèdres (fig. 111), souvent *à faces courbes* (fig. 113_2, et pl. I, fig. 1).


Fig. 111.

D. maclé. — Généralement deux tétraèdres se pénètrent à angle droit de façon à ce que l'ensemble présente la symétrie cubique holoèdre, mais avec des angles rentrants. Les tétraèdres peuvent être épointés individuellement par les faces du tétraèdre inverse. Il résulte de l'ensemble un octaèdre dont les arêtes sont remplacées par des gouttières. La figure 112 montre la genèse d'un pareil solide; les gouttières sont apparentes sur le cristal de gauche de la fig. 1, pl. I. Dans un second mode de groupement (fig. 113_4), deux octaèdres aplatis suivant l'une des faces se réunissent après avoir tourné par hémitropie de 180° l'un par rapport à l'autre.

D. groupé ou *boort,* formé de cristaux se pénétrant les uns les autres en tous sens de manière à former des masses sphéroïdales hérissées de facettes et de pointements. Le boort, en raison de cette structure particulière, ne présente pas de clivages et possède une dureté un peu supérieure aux variétés cristallisées régulièrement. Il ne peut être utilisé en joaillerie, mais, réduit en poudre, il sert à préparer l'*égrisée,* avec laquelle on pratique la taille des autres variétés.


Fig. 112.

D. noir. — Sa coloration et son opacité s'opposent à son emploi comme pierre d'ornement, mais sa dureté lui donne une valeur égale à celle des variétés limpides, grâce à son application au forage des roches.

L'origine du diamant est encore assez mystérieuse. Il n'a pas encore été trouvé avec certitude dans sa roche d'origine. Toutefois, Chaper affirme l'avoir rencontré *in situ* dans une pegmatite de l'Inde.

Tous ses gisements, très nombreux d'ailleurs, ont une origine détritique; il y est accompagné par un certain nombre de minéraux dont les principaux sont : le quartz, l'or, le platine, le zircon, l'anatase, le rutile, la brookite, l'hématite, l'ilménite, l'andalousite, la topaze, la cymophane, le corindon, la tourmaline et le grenat.

Le diamant a en outre été trouvé par M. Moissan dans une météorite du cañon Diablo.

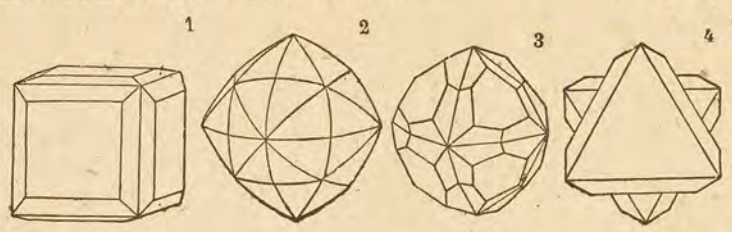


Fig. 113. — Diverses formes du Diamant.

Les principales provenances du diamant sont :

En Asie : l'Inde orientale et surtout la partie orientale du plateau du Dekkan avec les mines de Golconde, de Visapour, de Pannah, les tailleries de Hyderhabad et de Golconde; Sumatra, Bornéo et la presqu'île de Malacca.

En Amérique : au Brésil dans les provinces de Bahia et de Minas-Geraës avec des exploitations importantes situées le long du Rio Pardo (diamants noirs et vert-bouteille) et du Rio Jequetinhonha (diamants incolores); la Sierra Madre (province de Mexico).

En Afrique : les gisements du Cap sur le Vaal et plus au nord ceux de la république du Transvaal et de l'État libre d'Orange. On les divise en deux catégories bien distinctes : 1° les *mines de rivière,* où le diamant est accompagné sur les rives et dans le lit des cours d'eau, de calcédoine, d'agate, de péridot, de grenat et d'aragonite; 2° les *mines sèches,* où on le rencontre avec l'ilménite, le grenat, le feldspath altéré et l'aragonite.

En Europe : il y a quelques exploitations peu productives en Russie, dans l'Oural.

En Australie : dans la Nouvelle-Galles du Sud, en particulier Cudgegouz et Victoria.

Reproduction artificielle du diamant. — Les tentatives de reproduction de ce précieux minéral ont été nombreuses. Différents expérimentateurs ont pensé plusieurs fois avoir trouvé la solution du problème qui consiste à faire cristalliser dans le système cubique l'une quelconque des variétés de carbone. Jusqu'à M. Moissan, les recherches sont restées infructueuses. Celui-ci, à la suite d'une étude approfondie du *blue ground* des *cheminées* du Cap et de la météorite du cañon Diablo, qui contient du diamant, a pensé qu'une forte pression devait intervenir pendant la cristallisation. Toutes les expériences faites à la pression ordinaire donnent seulement du graphite. On sait, en effet, qu'à haute température le carbone se dissout en grande quantité dans le fer et la fonte en fusion, mais qu'il s'en sépare au refroidissement à l'état de graphite hexagonal (fig. 3, pl. II). S'appuyant sur ce fait que la fonte se contracte au refroidissement, et par suite que la partie liquide interne d'une masse solidifiée à son extérieur doit éprouver de la part de celle-ci une forte pression, M. Moissan a imaginé le procédé suivant, communiqué dans la séance de l'Académie des sciences du 16 février 1893.

Ce savant chauffe au four électrique 200 gr. de fer de Suède dans un creuset de charbon, sous l'action d'un courant de 350 ampères et 50 volts. Au bout de trois à six minutes, le creuset est retiré du four et plongé brusquement dans de l'eau jusqu'au rouge sombre, puis abandonné finalement à la température ordinaire.

Le contenu est d'abord traité à l'acide chlorhydrique pour dissoudre le fer, puis à l'eau régale. Enfin, par des traitements alternatifs à l'acide sulfurique bouillant et à l'acide fluorhydrique, le graphite et la silice sont éliminés. Le résidu est constitué de petits cristaux de diamant noir et de diamant incolore.

Les quantités obtenues sont excessivement faibles, et on a dû réunir les résultats d'un grand nombre d'opérations pour pouvoir en faire l'analyse. Le diamant chauffé dans un courant d'oxygène doit disparaître totalement en donnant de l'acide carbonique. C'est ce que l'expérience a confirmé.

Cette reproduction est du plus haut intérêt, mais malheureusement elle n'a pas encore donné de résultats industriels, et l'on est encore réduit à rechercher le diamant dans ses gîtes naturels.

Graphite, plombagine, mine de plomb. — C'est du carbone impur cristallisé dans le système orthorhombique, substance gris-de-fer ou gris-de-plomb à éclat métallique laissant sur le papier une trace noirâtre.

Dureté, 0,5 à 1; se raye à l'ongle. Densité, de 1,9 à 2,3.

Il a été longtemps considéré comme hexagonal, mais cette symétrie n'est qu'apparente, et une étude approfondie des cristaux de Pargas a montré qu'ils devaient être rapportés au système orthorhombique. Il est infusible. Il fuse dans le nitrate de potasse fondu, qui l'attaque totalement avec production d'anhydride carbonique. Le graphite est ordinairement mélangé à de l'oxyde de fer qui peut s'élever jusqu'au 10 p. 100. Il constitue la forme sous laquelle se dépose le carbone en solution dans les métaux sous la pression ordinaire, aussi est-il abondant dans les fentes de certaines fontes, où il se dépose en lamelles cristallines d'un vif éclat (pl. I, fig. 3). Il est bon conducteur de l'électricité.

Gr. écailleux en agrégats de petites lamelles (pl. I, fig. 2).

Gr. schistoïde : forme des feuillets ordinairement courbes.

Gr. compact. — Il peut être considéré comme la limite du graphite écailleux, dont les lamelles sont devenues excessivement petites.

On rencontre le graphite dans les gneiss, les micaschistes, les schistes argileux et les calcaires qui en dépendent, enfin dans quelques syénites. On le rencontre aussi dans les météorites.

Les principales provenances sont : Passau et Krems en Autriche, Tunaberg en Suède, Médioude dans les Pyrénées, Chamounix, les environs d'Elterlein et de Schwarzenberg en Saxe, Pargas en Finlande, le Harz, etc. Les cristaux remarquables viennent d'Ersby et de Storgard, près de Pargas (Finlande), de Ticonderoya (New-York), de Sibérie.

Soufre natif. — Corps simple ordinairement d'un jaune caractéristique, peut être aussi jaune-de-miel, rougeâtre ou verdâtre. Transparent, translucide ou

opaque, à éclat vitreux vif ou résineux, à cassure conchoïdale, très fragile; poussière jaune.

Dureté, de 1,5 à 2,5. Densité, de 1,9 à 2,1.

Le soufre est remarquable par son polymorphisme, mais la variété la seule stable dans la nature est celle qui cristallise en prismes orthorhombiques de 101° 46'.

Le soufre est mauvais conducteur de la chaleur. Il fond à environ 113° et se volatilise à 450°. Porté à l'air à la température de 270°, il brûle péniblement avec émission d'une flamme bleue peu éclairante, en produisant de l'anhydride sulfureux. Le soufre est mauvais conducteur de l'électricité.

S. cristallisé, en protopyramides orthorhombiques, modifiées par d'autres plus surbaissées, modifiées en outre par la base et un brachydôme (pl. I, fig. 4 et 5).

S. aciculaire, en cristaux déliés dans les cratères de volcans.

S. mamelonné ou stalactitique.

S. terreux, pulvérulent, provenant de l'oxydation à l'air de l'hydrogène sulfuré, ou des sulfures alcalins des sources minérales sulfureuses.

Les gisements de soufre peuvent provenir : 1° d'une émanation quasi directe d'origine ignée : ce sont ceux des terrains cristallophylliens ou des terrains volcaniques anciens et récents.

2° D'une réduction par les matières organiques de matériaux sédimentaires sulfatés; ce sont ceux qui accompagnent les bancs de gypse ou d'autres sulfates alcalino-terreux.

3° De l'oxydation de l'hydrogène sulfuré ou des sulfures alcalins.

Cette triple origine explique la présence de ce métalloïde dans des terrains de formation et d'âges très divers.

Série cristallophyllienne : Ticsan, Cordillères de Quito, Serro do Frio, Brésil; série secondaire : Conilla, près Gibraltar, Val di Noto, Val di Mazara, Girgenti (Sicile), Césenne, près de Ravenne; série tertiaire: lignites d'Artern, en Thuringe, pierre à plâtre de Montmartre, Enghien, Meaux. Certains filons métallifères en contiennent, mais en petite quantité (Chalanches, en Dauphiné; Rippoltzan, en Souabe). Tous les volcans en activité, Vésuve, Etna, volcans d'Islande, de Java, les solfatares de Pouzzoles, de la Guadeloupe, d'Islande, fournissent du soufre en grande abondance.

Arsenic natif. — Métalloïde blanc-d'étain, gris-de-fer ou gris noir, à éclat métallique sur la cassure fraîche. Celle-ci se ternit rapidement en noircissant par suite d'une altération à l'air.

Dureté, 2 à 2,5. Densité, 6 à 6,3.

Il cristallise dans le système rhomboédrique; cassure conchoïdale. Volatil dans le tube fermé, l'arsenic dégage sur le charbon une odeur d'ail et des vapeurs d'anhydride arsénieux.

A. cristallisé. — Rare en rhomboèdres de 85° 41'.

A. bacillaire. — En cristaux prismatiques parallèles ou enchevêtrés.

A. testacé. — Masses d'apparence mamelonnée constituées de sortes de calottes concentriques (pl. I, fig. 6).

L'arsenic natif se rencontre en masses peu importantes dans les roches cristallines. Il accompagne fréquemment les minerais d'antimoine, d'argent, de mercure et de plomb. On le rencontre à Freiberg, Annaberg, et Marienberg, en Saxe; à Joachimsthal en Bohême; à Andreasberg et à Clausthal au Harz; à Kapnik en Transylvanie; dans le Bannat; à Konsberg en Norvège; en Sibérie; à Sainte-Marie-aux-Mines en Alsace; etc.

Antimoine natif. — Métalloïde blanc-d'étain ou blanc-d'argent, à éclat métallique sur la cassure fraîche. Celle-ci devient peu à peu gris-de-plomb par son altération à l'air. Très fragile.

Dureté, 3 à 3,5. Densité, 6,6 à 7.

Rare en rhomboèdres de 87° 7' modifiés par la base et les faces de rhomboèdres plus surbaissés sur les angles culminants, clivage parallèle à la base. Ordinairement en lamelles hexagonales empilées (pl. I, fig. 7), ou en masses réniformes ou testacées.

Donne sur le charbon des vapeurs blanches, mais sans odeur d'ail.

C'est un minéral de filons qui accompagne souvent les minerais arsénifères à Chalanches (Dauphiné), à Andreasberg au Harz; à Przibràm en Bohême; à Salas en Suède, etc.

Bismuth natif. — Métal blanc-d'argent, légèrement rosé ou rougeâtre, à éclat métallique.

Dureté, 2 à 2,5. Densité, 9,7 à 9,83.

On le rencontre cristallisé en rhomboèdres presque cubiques de 87° 40' ou en lamelles à structure palmée, à cassure feuilletée, incluses dans des fissures de roches. Il fond facilement à la flamme d'une bougie et donne sur le charbon une auréole d'oxyde jaune.

Le bismuth accompagne les gîtes argentifères ou arsénifères.

On le trouve au val d'Ossau dans les Pyrénées; à Bieber en Hanau; à Wittichen en Souabe; à Annaberg, à Altenberg, à Schneeberg, en Saxe; à Brodbo et à Modum en Norvège; en Cornouaille, etc.

On polit en plaques d'ornement un jaspe rouge de Schneeberg pénétré de veinules de ce métal.

Réalgar. — Sulfure d'arsenic AsS ou As^2S^2, rouge vif, rouge-rubis, rouge-orange, rouge-cochenille, à éclat vitreux, à poussière rouge.

Dureté, 1,5 à 2. Densité, 3,4 à 3,6.

Il cristallise dans le système clinorhombique. Translucide en masses, il est transparent en lames minces et jouit d'un polychroïsme marqué. Chauffé au tube fermé, il se sublime totalement en un enduit rouge; sur le charbon il dégage des vapeurs sulfureuses accompagnées d'une odeur d'ail.

R. cristallisé. — En prismes clinorhombiques très courts, souvent surchargés de facettes sur les arêtes verticales et sur les angles. Le développement du clinopinacoïde leur donne quelquefois une apparence hexagonale (pl. I, fig. 9).

R. lamellaire. — En prismes pseudo-hexagonaux groupés parallèlement.

R. compact. — En masses cristallines.

Le réalgar se trouve ordinairement dans les filons métallifères, dans les produits des solfatares et dans ceux des volcans, dans la dolomie.

On le rencontre à Kapnik, en Hongrie; à Nagyag et Felsobanya, en Transylvanie; à Joachimsthal, en Bohême; à Schneeberg, en Saxe; à Andreasberg, au Harz; à Pouzzoles, à la Guadeloupe, au Vésuve, à l'Etna, au Japon.

Il est employé en peinture à la fabrication de l'*orpin rouge.*

Orpiment. — Sulfure d'arsenic As^2S^3. Il diffère par la quantité de soufre du minéral précédent. Jaune-citron

ou jaune rougeâtre, à éclat nacré ou résineux. Poussière jaune, translucide.

Dureté, 1,5. Densité, 3,58.

Il cristallise dans le système orthorhombique.

Clivages nets suivant la base et le brachypinacoïde.

Il brûle avec une odeur d'ail; chauffé au tube fermé, il se volatilise complètement en déposant un enduit jaune.

O. cristallisé. — Rare, en prismes orthorhombiques modifiés sur les arêtes et sur les angles.

O. lamelleux. — Prismes formés de lamelles empilées et divisibles en feuillets parallèles au clivage basique (pl. I, fig. 10).

O. granulaire. — En masses de grains agrégés.

Les gisements sont les mêmes que ceux du réalgar. On le rencontre à Tajowa, près de Neusohl, en Hongrie; à Kapnik, en Transylvanie; à Moldawa, dans le Bannat; à Hall, dans le Tyrol; au Saint-Gothard; à la Solfatare, près de Naples, etc.

L'orpiment est employé en peinture; c'est la base de l'*orpin jaune*.

Stibine. — Sulfure d'antimoine Sb^2S^3.

Gris-de-plomb ou gris-d'acier, quelquefois irisée, à cassure inégale, à poussière grise, opaque.

Elle cristallise dans le système orthorhombique.

Dureté, 2. Densité, 4,62.

Clivage parfait suivant le brachypinacoïde.

La stibine fond facilement à la flamme d'une bougie. Chauffée au tube fermé, elle donne un sublimé noir à chaud, rouge jaunâtre à froid, au tube ouvert un sublimé blanc d'oxyde d'antimoine et des vapeurs d'anhydride sulfureux. L'acide chlorhydrique concentré l'attaque énergiquement avec mise en liberté d'hydrogène sulfuré. C'est une préparation de ce dernier corps.

S. cristallisée. — Prismes orthorhombiques allongés, terminés par les faces de la protopyramide fondamentale et quelquefois modifiés latéralement par le brachypinacoïde. Les cristaux sont en général très brillants.

S. cylindroïde. — Cristaux accolés en longs prismes cannelés (pl. I, fig. 11).

S. bacillaire. — Cristaux aciculaires groupés autour de centres.

La stibine forme des filons en général de peu d'importance dans les granites, les gneiss et les micaschistes. On la trouve ainsi dans certains gîtes métallifères, principalement ceux d'argent. On la rencontre en France à Malbosc, dans l'Ardèche, à Auzat, dans le Puy-de-Dôme, à Mercœur, dans la Haute-Loire, à Massiac, dans le Cantal, à Saint-Florent, dans le Gard; en Saxe, à Wolfsberg et à Clausthal; en Bohême, à Przibrâm; en Toscane, à Monte-Cavallo; au Japon; etc.

Cette matière est exploitée comme minerai d'antimoine.

Molybdénite. — Sulfure de molybdène MoS^2. Substance d'un gris de plomb avec pointe de rougeâtre, très tendre, rayée par l'ongle, à vif éclat métallique. Les cristaux, assez peu nets en général, ont une apparence hexagonale, mais le système auquel ils appartiennent n'est pas déterminé avec certitude. Elle se présente ordinairement en lames feuilletées ou en petites lamelles isolées disséminées dans diverses matières (pl. I, fig. 12).

On la rencontre en amas ou en filons dans les roches cristallophylliennes, et elle accompagne généralement les gîtes d'étain.

On la trouve dans les Alpes du Dauphiné, de la Savoie, du Piémont, du Tyrol; dans les Pyrénées; en Bohême; à Altenberg, Zinnwald, Schneeberg en Saxe; à Arendal en Norvège, etc.

PLANCHE I

1. **Diamant.** — Carbone cristallisé dans le système cubique. — Trois formes naturelles. L'échantillon de droite est un octaèdre modifié, le médian un tétraèdre également modifié, celui de gauche un octaèdre régulier dont les arêtes sont remplacées par une sorte de gouttière indiquant nettement la macle de deux tétraèdres épointés.

La figure rend d'une façon satisfaisante l'éclat gras du diamant et l'aspect dû à sa forte réfringence. On remarquera la courbure des faces et des arêtes.

2. **Graphite.** — Carbone cristallisé en lames hexagonales appartenant au système clinorhombique (dimorphisme) en masse feuilletée. — Ceylan.

3. **Graphite** artificiel provenant des usines de Kœnigsbronn (Wurtemberg).

4. **Soufre natif.** — Cristaux de couleur jaune caractéristique terminés par plusieurs pyramides orthorhombiques superposées. Remarquer le vif éclat et la cassure conchoïdale du minéral. La gangue est constituée d'aragonite grisâtre. — Girgenti (Sicile).

5. **Soufre natif.** — Agrégat de cristaux enchevêtrés de couleur plus foncée que l'échantillon précédent. — Girgenti (Sicile).

6. **Arsenic natif.** — En masse testacée à cassure conchoïdale, gris-de-plomb brillant sur la fracture fraîche, noir-de-fer mat après quelque temps d'exposition à l'air. — Clausthal (Harz).

7. **Antimoine natif.** — Rhomboédrique en lamelles hexagonales irrégulièrement empilées, présentant des irisations dues à une altération superficielle. — Dauphiné.

8. **Bismuth natif.** — En masse lamellaire blanc rougeâtre à structure palmée, à éclat métallique. — Schneberg (Saxe).

9. **Réalgar.** — Sulfure d'arsenic As^2S^2. Cristaux clinorhombiques rouge-rubis sur une gangue composée de quartz, de kaolin, de pyrite et d'orpiment mélangés. — Taiova-Neusohl (Hongrie).

10. **Orpiment.** — Sulfure d'arsenic As^2S^3. Cristaux orthorhombiques empilés en colonnes suivant leur faces de clivage parfait (brachypinacoïde). Ils sont mélangés à un peu d'orpiment rouge. — Kapnik (Hongrie).

11. **Stibine.** — Sulfure d'antimoine Sb^2S^3. Groupe de prismes orthorhombiques cannelés, terminés par une protopyramide. Gris-de-plomb, vif éclat métallique. — Japon.

12. **Molybdénite.** — Sulfure de molybdène MoS^2 en masses lamellaires à éclat métallique, gris-de-plomb. La gangue est un quartz cristallin faiblement coloré en brun par un oxyde de fer. C'est un satellite ordinaire des gîtes d'étain. — Altenberg (Erzgebirge).



1. **Diamant.** *Octaèdres et tétraèdre.* *2.* **Graphite** *lamellaire.* *3.* **Graphite** *artificiel.* *4.* **Soufre natif** *en octaèdres orthorhombiques.* *5.* **Soufre natif** *en cristaux groupés.* *6.* **Arsénic natif** *en masse testacée.* *7.* **Antimoine natif** *cristallisé.* *8.* **Bismuth natif.** *9.* **Réalgar.** *Protosulfure d'arsenic.* *10.* **Orpiment.** *Sesquisulfure d'arsenic.* *11.* **Stibine.** *Sulfure d'antimoine.* *12.* **Molybdènite.** *Sulfure de Molybdène.*

MINERAIS D'OR, D'ARGENT ET DE MERCURE

OR

Or natif. — Ce métal est d'un jaune caractéristique quand il est pur, mais, allié à l'argent, au cuivre, au platine, au palladium ou au rhodium, il peut présenter des teintes pâles, verdâtres ou rougeâtres. On ne le rencontre presque jamais à l'état de pureté, mais ordinairement allié à l'argent, dont il peut contenir jusqu'à 36 pour 100. Ces véritables alliages présentent souvent des compositions accidentellement définies, dans lesquelles les poids des deux métaux sont en rapports simples, mais il n'y a pas lieu d'en faire des espèces distinctes. L'or natif possède l'éclat métallique vif, il est opaque en masses, mais les feuilles minces obtenues par le battage se laissent traverser par une lumière verte. Il est, en effet, très ductile et très malléable.

Dureté, 2,5 à 3. Densité, de 15 à 19,37.

Il cristallise dans le système cubique. C'est, avec le platine et l'iridium, un des métaux les moins altérables; il n'est attaqué en effet que par l'eau régale, mélange d'acide chlorhydrique et d'acide azotique. Il est assez fusible et fond vers 1100°.

Or cristallisé. — Les cristaux sont toujours petits. Ce sont des cubes rarement simples, le plus souvent modifiés par les faces du dodécaèdre rhomboïdal, de l'octaèdre, de deux cubes pyramidés, de deux trapézoèdres et d'un hexoctaèdre. L'octaèdre et le dodécaèdre rhomboïdal isolés sont fréquents.

Or dendritique. — Petits cristaux groupés en dendrites saillantes ou étendus en arborisations dans les fentes des roches (pl. II, fig. 1 et 4).

Or lamelliforme. — En lames assez minces plus ou moins larges à la surface ou dans les fentes de diverses gangues (pl. II, fig. 2 et 3).

Or granuliforme. — En grains à surface lissée par le transport. Ceux dont le volume est supérieur à celui d'un gros pois portent le nom de *pépites* (pl. V, fig. 5).

Or en paillettes. — En petits grains aplatis, disséminés dans les sables.

Or en mouches. — Taches d'un jaune caractéristique dans le quartz aurifère.

On a souvent pris pour de l'or différentes substances qui l'accompagnent ordinairement, telles que la pyrite et la chalcopyrite, mais on le distingue facilement grâce à son éclat mat, à l'*absence de faces de clivage* et à sa malléabilité.

Le gisement principal de l'or est le quartz en filons disséminé en veines dans des micaschistes ou des talcschistes, des granites, des porphyres, des serpentines, etc. Mais il traverse facilement leurs épontes, et les roches encaissantes se trouvent souvent très minéralisées. L'or y existe sous forme de grains irréguliers, de filaments, de mouches, de lamelles, de dendrites, quelquefois à un état de division extrême, cas où, pour le mettre en évidence, on doit recourir aux traitements chimiques et métallurgiques.

Il se rencontre aussi dans les filons de pyrite, de chalcopyrite, d'érubescite, de stibine, de cuivre gris, de galène et de divers minerais d'argent.

Ce métal est très répandu dans la nature, et on le trouve un peu partout, mais il est rare qu'on puisse exploiter avantageusement ses gisements. Une roche, pour devenir exploitable, doit contenir 20 gr. d'or à la tonne.

Les gisements principaux se rencontrent :

En Amérique : au Brésil, dans la province de Minas-Geraës; dans la Nouvelle-Grenade; au Chili; au Pérou; dans la province de Mexico; au Guatemala; en Californie, entre la Sierra Nevada, le Sacramento et Saint-Joaquin.

En Europe : à Konsberg, Schemnitz, Felsobanya, en Hongrie; à Kapnik, en Transylvanie; dans les sables du Rhin, de la Reuss et de l'Aar; dans les Alpes du Simplon et du mont Rose; dans la vallée d'Aoste; en Piémont, en Espagne, en Ecosse, en Irlande, en Suède, dans l'Oural à Berézow.

En général ces gisements sont peu abondants.

En Afrique : entre le Darfour et l'Abyssinie, dans l'Afrique occidentale à la côte d'Ivoire.

En Asie : dans la Chine et le Japon, à Formose, Ceylan, Java, Sumatra, Bornéo, les Philippines.

En Australie.

En France, on rencontre l'or en paillettes dans les sables de l'Ariège, de la Garonne, du Rhône; à Plancher-les-Mines (Haute-Savoie), à Pontvieux (Puy-de-Dôme), à Voulky (Haute-Vienne); mais on n'exploite guère que la mine de la Gardette (Isère), et l'on vient de découvrir récemment un gisement de pyrite aurifère au Châtelet, près de Chambon (Creuse).

Les contrées qui fournissent au commerce les plus grandes quantités d'or sont : la Californie, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Russie d'Asie, le Thibet, le Brésil, le Mexique, la Nouvelle-Grenade, la Hongrie et la Transylvanie.

MINERAIS D'ARGENT

Argent natif. — Métal d'un blanc métallique vif quand il est pur, mais quand il est allié, comme c'est

l'ordinaire, à d'autres métaux tels que le cuivre, le fer, le mercure, l'arsenic, l'or et le platine, il peut prendre différentes teintes jaunâtres, verdâtres ou brunes. Il s'altère facilement à la surface, se ternit et peut devenir noirâtre ou même noir. Il est très ductile et très malléable, ce qui permet de le réduire en feuilles minces; toutefois il présente ces propriétés à un degré moindre que l'or.

Dureté, 2,5 à 3, plus dur que l'or, plus mou que le cuivre. Densité, de 10,1 à 11,1.

Comme l'or, il cristallise dans le système cubique. Il fond vers 1000°, se dissout très rapidement dans l'acide azotique, et, s'il est inoxydable à l'air, il est en revanche très sensible aux vapeurs sulfureuses, qui le noircissent.

A. cristallisé en cubes, en octaèdres, en dodécaèdres rhomboïdaux, en trapézoèdres et en cubes pyramidés. Les formes dominantes sont l'octaèdre et le dodécaèdre rhomboïdal (pl. II, fig. 6).

A. dendritique ou ramuleux. — Agrégats de petits cristaux octaédriques ou dodécaédriques réunis en arborisations simulant des feuillages découpés ou de petits rameaux (pl. II, fig. 7).

A. lamellaire. — Feuillets remplissant les fractures de certaines gangues (pl. II, fig. 8).

A. en pépites. — Masses plus ou moins volumineuses à contours arrondis; plus rare que l'or sous cette forme dans les alluvions.

A. filiforme ou capillaire. — Filaments plus ou moins allongés en touffes contournées, simulant des mèches de cheveux (pl. II, fig. 9). Son origine est due à une réduction de composés argentifères.

L'argent natif se rencontre ordinairement dans des filons de quartz et des veines de calcite traversant les roches anciennes telles que les gneiss et les schistes cristallophylliens.

Les mines de Konsberg et de Potosi ont souvent fourni des blocs d'argent de 30, 60 ou 100 kgr. et de poids plus considérables encore. On cite un bloc trouvé à Konsberg en 1834 pesant sept quintaux et demi.

Agricola rapporte qu'au XVe siècle Albert de Saxe, visitant une mine des environs de Schneeberg, se fit servir à dîner sur un bloc d'argent de plus de cent quintaux que l'on prit comme table. L'argent natif se trouve encore disséminé en particules ténues dans les matières argileuses qui pénètrent la partie supérieure de certains filons argentifères, comme, par exemple, les *terres rouges* du Huelgoat en Bretagne, et les *pasos* ou *colorados* de l'Amérique centrale.

Les gangues ordinaires de l'argent natif sont : la calcite, le quartz et la barytine.

Les principales provenances sont, outre Potosi, Konsberg et Schneeberg déjà cités, Freiberg et Johanngeorgenstadt en Saxe; Przibrâm et Joachimsthal, en Bohême; le Mexique; le Pérou. On le trouve encore, mais en moindre quantité, à Andreasberg au Harz, en Souabe, en Hongrie, à Allemont dans le Dauphiné, dans l'Oural près de Bérézow, à Schlangenberg dans l'Altaï.

Argyrose. — Sulfure d'argent Ag^2S. — Couleur gris-d'acier ou gris-de-plomb noirâtre, inclinant au brun ou au noir, à éclat métallique. Opaque, cassure conchoïdale ou inégale.

Elle cristallise dans le système cubique.

Traces de clivage suivant les faces du dodécaèdre rhomboïdal. Ce minéral est remarquable par la facilité avec laquelle il se laisse couper au couteau. Au chalumeau il fond avec boursouflement en donnant facilement un globule d'argent.

A. cristallisée. — En cubes, en cubooctaèdres, en octaèdres souvent modifiés sur les angles, en dodécaèdres rhomboïdaux (pl. II, fig. 10 et 12).

A. maclée. — Deux cubes se pénètrent ayant en commun une grande diagonale, macle analogue à celle de la fluorine.

A. dendritique et ramuleuse. — Agglomération de petits cristaux en masses dendritiques ou ramuleuses (pl. II, fig. 11).

A. filiforme. — En fils contournés.

A. concrétionnée. — En concrétions ou en enduits sur des matières filoniennes.

A. terreuse. — En masses noires, friables et pulvérulentes à la partie supérieure des filons.

C'est le principal minerai d'argent, dont il contient environ 87 p. 100. On le rencontre en filons traversant les gneiss, les micaschistes, les schistes argileux, quelquefois dans les porphyres et les trachytes avec d'autres minerais d'argent. La variété terreuse occupe la partie inférieure des gîtes.

On a trouvé l'argyrose au Harz à Andreasberg, dans les mines de Katharina, Neufang et Gnade Gottes; à Freiberg, Marienberg, Annaberg, Schnebeerg et Johanngeorgenstadt, en Saxe, où elle est abondante; à Joachimsthal, en Bohême; à Schemnitz et Kremnitz, en Hongrie; à Konsberg, en Norvège; au Mexique, au Pérou, au Chili, etc.

Sa plasticité est telle qu'elle peut être facilement estampée.

Argyrythrose. — Antimonosulfure d'argent $3Ag^2S, Sb^2S^3$. Couleur variant du rouge-cochenille au gris-de-plomb et au noir-de-fer. Eclat adamantin, cassure conchoïdale.

Dureté, 2 à 2,5. Densité, de 5,75 à 5,85.

Elle cristallise dans le système rhomboédrique. Translucide ou opaque en masses, elle se laisse traverser en lames minces par une lumière rouge, ce qui l'a fait ranger, avec la proustite et les variétés intermédiaires, parmi les *argents rouges*.

Chauffée au tube fermé, elle décrépite en donnant un sublimé rouge-brun de sulfure d'antimoine. Sur le charbon elle fournit, avec le carbonate de soude, un globule d'argent.

A. cristallisée. — En rhomboèdres diversement modifiés ou en prismes hexagonaux inverses portant ordinairement les faces de rhomboèdres directs et de scalénoèdres (pl. II, fig. 13 et 14).

A. dendritique. — Agrégats de cristaux déformés sur différentes substances.

A. botryoïde. — En mamelons groupés.

On rencontre l'argyrythrose à Konsberg, en Norvège; à Joachimsthal, en Bohême; à Kapnik, en Hongrie; à Andreasberg, au Harz; à Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges; en Amérique, à Sombrerete, à Cozala, à Zoolga. Dans ces derniers gisements elle existe en quantités considérables.

L'argyrythrose est exploitée comme minerai d'argent.

Proustite. — Arséniosulfure d'argent $3Ag^2S, As^2S^3$. C'est le correspondant arsénié de l'argyrythrose; l'antimoine y est remplacé par de l'arsenic, et on trouve tous

les passages entre ces deux substances; on désigne cet ensemble sous le nom d'*argent rouge*.

C'est un superbe minéral rouge-groseille ou rouge-cochenille, quelquefois teinté de gris-de-plomb à la surface, à éclat adamantin, transparent, très biréfringent et se laissant traverser par une lumière rouge. Poussière rouge-cochenille. Cassure conchoïdale ou inégale.

La proustite est rhomboédrique comme l'argyrythrose.

Chauffée dans le tube fermé, elle donne un sublimé de sulfure d'arsenic. Sur le charbon elle dégage des fumées arsenicales à odeur alliacée et fournit avec le carbonate de soude un bouton métallique blanc cassant.

La proustite contient environ 65 p. 100 d'argent.

P. cristallisée. — En rhomboèdres modifiés par les faces du prisme hexagonal inverse et divers scalénoèdres. Quelquefois le prisme hexagonal prédomine (pl. II, fig. 15).

On rencontre la proustite avec les autres minerais d'argent à Johanngeorgenstadt, Marienberg, Annaberg, en Saxe; à Joachimsthal, en Bohême; à Markirchen, en Alsace; à Chalanches, en Dauphiné; à Guadalcanal, en Espagne; à Mexico; etc.

La proustite est exploitée comme minerai d'argent.

MINERAIS DE MERCURE

Mercure natif. — Métal liquide en gouttelettes blanc-d'argent. Densité, de 13,5 à 13,6. A —40° il se modifie et cristallise en dodécaèdres rhomboïdaux cubiques, à 357° il bout sous la pression ordinaire.

On le rencontre en petites quantités dans les gisements de cinabre et dans les roches qui servent de gangues aux autres minerais; il paraît provenir de leur décomposition (pl. II, fig. 16).

On le rencontre à Almaden et à Almadanéjos, en Espagne; à Ripa, en Toscane; à Idria, en Carniole; etc. On en a cependant trouvé dans des terrains privés de ces minerais dans les Cévennes, à Montpellier, aux environs de Limoges, près de Saint-Lô dans la Manche.

Le mercure natif est trop peu abondant pour être exploité.

Cinabre. — Sulfure de mercure HgS. Substance rouge-cochenille, rouge-brun, quelquefois noire, à éclat adamantin, à cassure lamellaire, à poussière rouge. Dureté, 2,5. Densité, de 8 à 8,2.

Le cinabre cristallise dans le système rhomboédrique. Clivage parallèle aux faces du prisme hexagonal direct. Translucide ou transparent, opaque en masse. Il jouit, comme le quartz, du pouvoir rotatoire, mais son pouvoir est environ quinze fois plus considérable.

Chauffé dans le tube fermé, il donne un enduit grisâtre de fines gouttelettes de mercure quand on l'additionne de carbonate de soude; seul, il se volatilise complètement.

C. cristallisé en petits prismes hexagonaux réguliers (Chine), ou en rhomboèdres primitifs basés portant en modification les faces d'autres rhomboèdres et le prisme hexagonal direct (pl. II, fig. 17).

C. mamelonné.

C. granulaire, à grains plus ou moins fins.

C. testacé en petites masses noirâtres testacées, ordinairement mélangées de substances terreuses et bitumineuses.

C. pulvérulent en masses terreuses ou en enduits sur des roches (pl. II, fig. 18).

C. compact (pl. II, fig. 16).

On peut diviser les gisements de ce minéral en deux catégories : dans la première on range les filons, les amas et les veines des terrains cristallophylliens et métamorphiques; dans les gisements de la seconde, le minéral est disséminé parmi les grès, les schistes bitumineux et les calcaires des terrains secondaires inférieurs.

On rencontre le cinabre à Salvena et Ripa, en Toscane; à Almaden en Espagne; dans le Palatinat; à Idria en Carniole; à Réalmont dans le Tarn; à Challanches dans l'Isère; en Asie, dans l'Oural, le Thibet, la Chine, le Japon; en Amérique, au Mexique, au Chili, au Pérou, en Californie.

Le cinabre est le plus abondant minerai de mercure et exploité comme source de ce métal.

PLANCHE II

1. **Or natif.** — En masses ramuleuses formées de petits octaèdres et de petits dodécaèdres réguliers agrégés. La coloration pâle de l'échantillon est due à une forte teneur en argent. La gangue est une brèche siliceuse riche en pyrite, satellite ordinaire de l'or dans ses gisements. — Verespatak (Siebenbürgen).

2. **Or natif** laminiforme en feuilles minces frangées sur les bords de petits octaèdres, couleur jaune caractéristique. Avec dolomie ferrugineuse sur quartz grisâtre. — Trestyan (Hongrie).

3. **Or natif.** — En feuilles minces, déchiquetées. La couleur foncée de l'échantillon ne dénote qu'une très faible teneur en argent. Sur schiste quartzeux. — Zell, dans le Zillerthal (Tyrol).

4. **Or natif.** — Avec limonite provenant d'une altération de la pyrite. La gangue est un quartz blanc compact corrodé, pénétré d'oxyde de fer, et connu sous le nom de quartz aurifère. — Victoria (Australie).

5. **Or natif.** — En pépites arrondies par le frottement résultant du transport par les eaux et provenant d'alluvions aurifères. Les cavités de la surface sont revêtues d'un enduit d'oxyde de fer brun. — Californie.

6. **Argent natif.** — Masse formée de cristaux octaédriques et cubiques entrelacés; contient des traces d'or. — Konsberg (Norvège).

7. **Argent natif** ramuleux provenant du groupement de petits octaèdres. Sur barytine. — Potosi (Pérou).

8. **Argent natif** en feuilles minces traversant dans tous les sens un fragment de calcite. — Konsberg (Norvège).

9. **Argent natif** filiforme en huoppes contournées, à surface irisée. — Johanngeorgenstadt (Erzgebirge).

10. **Argyrose.** Sulfure d'argent Ag^2S. Cubes et octaèdres gris-de-plomb provenant d'un filon argentifère dans les gneiss. — Mine d'Himmelsfürst (Erzgebirge).

11. **Argyrose** ramuleux formé de cubes et d'octaèdres groupés. — Même provenance.

12. **Argyrose** en cubes réguliers. — Freiberg (Saxe).

13 et 14. **Argyrythrose.** — Antimoniosulfure d'argent $3Ag^2S,Sb^2S^3$ faisant partie du groupe des *argents rouges*. Rhomboédrique, vif éclat métallique, gris-de-plomb. L'échantillon de gauche est sur calcite en prismes hexagonaux. — Filons d'Andreasberg (Harz).

15. **Proustite.** — Arséniosulfure d'argent $3Ag^2S, Sb^2S^3$ faisant partie du groupe des *argents rouges*. Isomorphe du minéral précédent. Vif éclat adamantin. Rhomboèdres d'un rouge rubis, sur dolomie. — Filons d'Andreasberg (Harz).

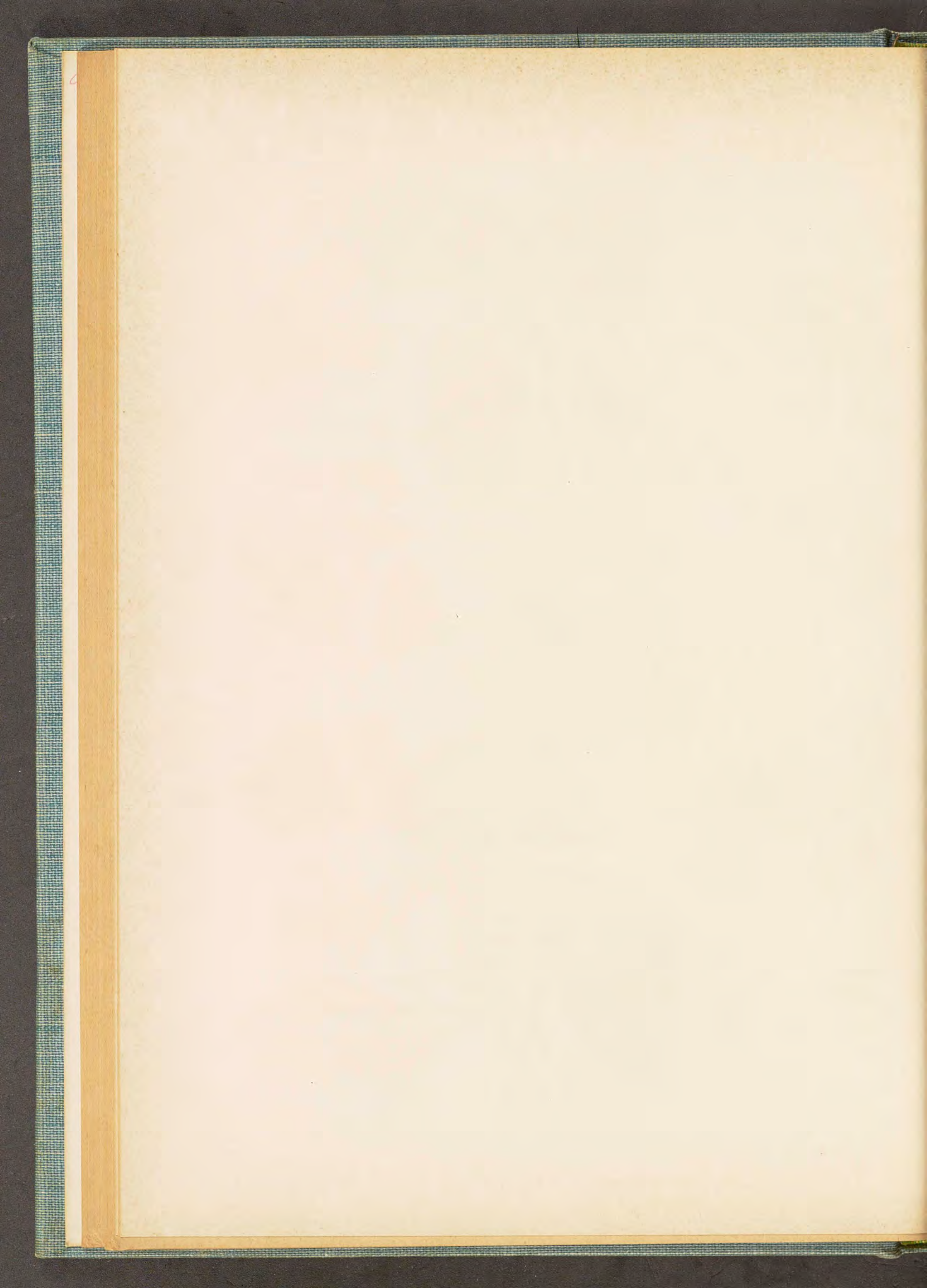
16. **Mercure natif** en gouttelettes avec enduit de cinabre sur un grès feldspathique grisâtre. — Palatinat.

17. **Cinabre.** — Sulfure de mercure HgS. Rhomboèdres rouge-cochenille et cinabre compact cristallin, à vif éclat adamantin. Sur une argile schisteuse. — Idria (Carniole).

18. **Cinabre** massif rouge-cochenille en inclusions irrégulières dans une dolomie. Le minéral grisâtre associé est du cuivre gris. — Hongrie.



1. **Or natif** *ramuleux.* *2 et 3.* **Or natif** *laminiforme.* *4.* **Or natif** *sur quartz aurifère.* *5.* **Or natif** *en pépites.* *6.* **Argent natif** *cristallisé.* *7.* **Argent natif** *ramuleux.* *8.* **Argent natif** *en inclusions laminaires.* *9.* **Argent natif** *filiforme.* *10.* **Argyrose.** *Sulfure d'argent cristallisé.* *11.* **Argyrose** *ramuleux.* *12.* **Argyrose** *en cubes groupés.* *13 et 14.* **Argyrythrose.** *Antimoniosulfure d'argent.* *15.* **Proustite.** *Arséniosulfure d'argent.* *16.* **Mercure natif** *avec Cinabre.* *17.* **Cinabre.** *Sulfure de mercure cristallisé.* *18.* **Cinabre** *en enduits.*



MINERAIS DE CUIVRE

Les principaux minerais de cuivre sont : le *cuivre natif*, la *cuprite* (oxydule), la *chalcosine* (sulfure cuivreux), la *chalcopyrite* (sulfure double de fer et de cuivre), la *malachite* et l'*azurite* (hydrocarbonates), enfin l'*atacamite* (oxychlorure), moins répandue.

Cuivre natif. — Corps simple de couleur jaune-rouge caractéristique à éclat métallique, bien que le plus souvent terne. Dureté, 2,5 à 3. Densité, de 8,5 à 8,9. Malléable.

Il cristallise dans le système cubique.

C. cristallisé. — En octaèdres ou en dodécaèdres réguliers, rarement en cubes.

C. ramuleux ou dendritique. — Sortes de végétations formées de petits octaèdres ou de petits dodécaèdres empilés, simulant des arborescences (pl. III, fig. 1 et 2).

C. lamellaire. — En lames plus ou moins contournées, disséminées dans les fentes de diverses roches.

Le cuivre natif se trouve presque toujours au voisinage des dépôts de chalcopyrite, de chalcosine et d'azurite, engagé dans les roches qui les accompagnent. L'Oural fournit de beaux échantillons (mine de Tourinski). Des masses considérables ont été trouvées au Brésil, au Canada, au lac Supérieur dans des grès.

Cuprite. — Cuivre oxydulé Cu^2O. Ordinairement de couleur rouge, rouge-cochenille, rouge-brique, brun-rouge presque noir. Opaque ou translucide, réfringence supérieure quelquefois à celle du diamant, poussière rouge, cassure rougeâtre à éclat métallique prononcé. Densité, de 5,7 à 6. Dureté, 3,5 à 4. Rayant la calcite et rayé par la pointe d'acier; clivages suivant les faces de l'octaèdre. Appartient au système cubique.

Chauffée, la cuprite noircit, sur le charbon elle donne un globule de cuivre par réduction.

Cuprite cristallisée. — Rarement en cubes, ordinairement en octaèdres à faces souvent creusées en trémies, en dodécaèdres rhomboïdaux (Chessy). Les faces sont ordinairement recouvertes d'un enduit de malachite (pl. III, fig. 3).

Cuprite capillaire (variété *chalcotrichite*). — En petites aiguilles d'un rouge-cochenille entre-croisées.

Cuprite compacte. — Masses vitreuses à cassure conchoïdale.

C'est un excellent minerai de cuivre quand il est assez abondant pour être exploité. On le rencontre dans le Bannat, en Thuringe, en Toscane, à l'île d'Elbe en cubes, en Cornouaille (Angleterre); à Chessy près de Lyon; à Ékaterinembourg (Sibérie) et dans diverses localités des États-Unis.

Chalcosine. — Sulfure cuivreux Cu^2S. Noir-de-fer bleuâtre ou gris-d'acier. Éclat métalloïde.

Dureté, 2,5 à 3, facile à couper au couteau. Densité assez forte, 5,5 à 8. Clivage imparfait suivant la base. Cristallise dans le système orthorhombique avec un prisme de 119° 35′.

La chalcosine fond à la flamme d'une bougie.

Ch. cristallisée. — Prismes d'apparence hexagonale par suite de la présence des faces d'un brachydôme et du brachypinacoïde (pl. III, fig. 4).

Ch. pseudomorphique. — Cônes de conifères préhistoriques transformés en chalcosine (pl. III, fig. 5).

La chalcosine est une substance accidentelle des différents gîtes de chalcopyrite, en Cornouaille, en Hesse, à Moldava (Bannat). Elle est exploitée en Sibérie, où elle se trouve en quantités assez considérables dans des filons d'argile. On rencontre le cuivre spiciforme à Frankenberg (Hesse).

Chalcopyrite. — Sulfure double de fer et de cuivre Cu^2S,Fe^2S^3. Substance jaune-de-laiton ou jaune-de-bronze à éclat métallique très vif. Poussière noire verdâtre. Dureté, 3,5 à 4. Densité, 4,1 à 4,3. Clivage parallèle aux faces d'une deutéropyramide aiguë. Elle cristallise dans le système quadratique avec hémiédrie à faces inclinées.

Elle décrépite au tube fermé et donne un sublimé de soufre. Fusible au chalumeau sur le charbon avec émission d'étincelles, elle donne un globule attirable à l'aimant.

Ch. cristallisée. — En octaèdres quadratiques se rapprochant beaucoup de l'octaèdre régulier, mais composés des deux sphénoïdes direct et inverse. Cristallisée aussi en sphénoïdes très voisins du tétraèdre régulier (pl. III, fig. 6).

Ch. compacte. — En masses informes plus ou moins considérables, souvent mélangées intimement de pyrite et d'érubescite ($3Cu^2S,Fe^2S^3$) (pl. III, fig. 7).

Ch. stalactitique. — Mamelonnée.

Gisements importants : Chessy et Saint-Bel, près Lyon; Baigorry (Pyrénées); Herrengrund, Libethen, près Neusohl (Hongrie); Christiania (Norvège); Cornouaille (Angleterre); Ramelsberg (Harz); en Silésie; en Saxe; etc.

C'est le plus abondant et le plus exploité des minerais de cuivre.

Malachite. — Hydrocarbonate de cuivre $CuCO^3,CuO,H^2O$, substance vert-émeraude ou vert-d'herbe, poussière verte, fragile. Dureté, 3,5. Densité, de 3,7 à 4,1. Cristallise en prismes clinorhombiques, de 104° 20′.

M. cristallisée. — Très rare en prismes clinorhombiques, à sommets dièdres, plus ou moins modifiés sur les arêtes latérales (pl. III, fig. 13).

M. pseudomorphique. — En cubes, en octaèdres, en dodécaèdres rhomboïdaux provenant de la décomposition de la cuprite, dont elle garde la forme extérieure.

M. mamelonnée. — En masses tantôt confusément cristallisées, tantôt composées de couches terreuses (pl. III, fig. 10 et 11).

M. fibreuse. — A fibres divergentes ou entrelacées et parallèles (pl. III, fig. 9).

On trouve la malachite dans les monts Oural, en Sibérie, dans les Karpathes, en Transylvanie, en Saxe, en Angleterre et presque dans toutes les mines de cuivre.

Elle est utilisée dans l'ornementation; on en fabrique des coffrets, des presse-papiers. Une table d'environ un mètre cinquante de rayon figurait à l'exposition de 1889.

Azurite. — Hydrocarbonate de cuivre $2(CuO,CO^2)$, CuO,H^2O. Minéral d'un bleu d'azur foncé. Dureté, 3,5 à 4, rayant la calcite, rayée par la fluorine. Densité, de 3,7 à 3,8. Eclat vitreux Poussière bleu pâle.

Elle cristallise en prismes clinorhombiques de 99° 20′. Forte transparence, biréfringence énergique; cassure conchoïdale et clivages parallèles aux faces d'un clinodôme, très fragile.

A. cristallisée. — En prismes obliques, souvent aplatis suivant la base et modifiés par les facettes d'une hémi-protopyramide (pl. III, fig. 12 et 13).

A. compacte (pierre d'Arménie). — Masses terreuses bleues.

A. terreuse. — Cendre bleue, bleu de montagne. Employée en peinture.

Les beaux cristaux viennent de Chessy, près Lyon, et du Bannat. On la rencontre en plusieurs localités de Thuringe et dans l'Oural.

L'azurite est fréquemment associée à la malachite, dans laquelle elle se transforme et qui constitue un minéral plus stable (pl. III, fig. 13).

Atacamite. — Oxychlorure de cuivre hydraté $CuCl^2$, $3CuO,3H^3O$. Cristaux ou masses cristallines d'un vert émeraude à éclat vitreux ou adamantin. Poussière vert-pomme. Dureté, 3 à 3,5. Densité, de 3,6 à 3,8.

Cristallise dans le système clinorhombique.

A. cristallisée. — Quelquefois les cristaux sont très simples, comme ceux de la figure (pl. III, fig. 14), qui portent le prisme et un macrodôme.

A. aciculaire. — Petits cristaux allongés très déliés.

L'atacamite doit son nom au désert d'Atacama (Bolivie), dont les habitants la réduisent en poudre verte servant à sécher l'écriture. On l'a trouvée aux Antilles, au Chili, en Nouvelle-Zélande, etc.

PLANCHE III

1. **Cuivre natif** ramuleux. Arborescences formées de dodécaèdres réguliers associés. — Cornouaille (Angleterre).

2. **Cuivre natif.** — En associations cristallines ramuleuses, irrégulièrement contournées, sur gros cristaux de calcite. — Sibérie.

3. **Cuprite.** — Oxydule de cuivre Cu^2O. Octaèdres réguliers et rhombododécaèdres superficiellement recouverts de malachite qui masque leur couleur rouge vif. — Chessy, près Lyon.

4. **Chalcosine.** — Sulfure cuivreux Cu^2S. Groupement de tables orthorhombiques. Leur apparence hexagonale est due aux faces d'un brachydôme et d'une pyramide, elles sont aplaties suivant la base. — Cornouaille (Angleterre).

5. **Chalcosine, Cuivre spiciforme, Cuivre en épis** d'Haüy. — Pseudomorphose d'un cône de conifère préhistorique (*Ulmannia Bronni*) en chalcosine provenant des schistes cuprifères du permien. — Frankenberg (Hesse).

6. **Chalcopyrite.** — Sulfure double de fer et de cuivre Cu^2S,Fe^2S^3. En tétraèdres quadratiques (hémiédrie) ou sphénoïdes. La macle de deux cristaux conduit à un octaèdre quadratique presque régulier. La gangue est une dolomie ferrugineuse (spath brunissant). Vif éclat métallique, jaune-de-laiton. — Cornouaille (Angleterre).

7. **Chalcopyrite** en masse cristalline, à cassure inégale; ses reflets irisés sont probablement dus à un mélange d'érubescite $3Cu^2S,Fe^2S^3$. — Falun (Suède).

8. **Fragment de filon cuprifère,** où l'on trouve associés la chalcopyrite (jaune-de-laiton), l'hématite (rouge brunâtre), la malachite (verte) et du quartz cristallin blanc. L'hématite et la malachite proviennent de l'altération de la chalcopyrite.

9. **Malachite** en fibres soyeuses, vertes, irradiées autour de centres, sur cuprite cristalline compacte. — Sibérie.

10. **Malachite.** — Carbonate basique de cuivre hydraté $CuCO^3,CuO,H^2O$, en rognons à texture fibreuse, mais polis à la surface, couleur verte caractéristique. — Oural.

11. **Malachite.** — En plaque polie de même provenance.

12. **Azurite.** — Carbonate basique de cuivre hydraté $2CuCO^3,CuO,H^2O$. Cristaux tabulaires empilés, formés du prisme clinorhombique, de la base et de différentes pyramides. Transparente, éclat vitreux, bleu-d'azur foncé. On donne encore le nom de **chessylite** à cette espèce, du nom de son principal gisement presque épuisé aujourd'hui, Chessy, près Lyon.

13. **Azurite.** — Incrustée sur malachite. Ces deux minéraux se trouvent presque toujours intimement associés. L'azurite, moins stable que la malachite, se transforme lentement en celle-ci. — Chessy près Lyon.

14. **Atacamite.** — Oxychlorure de cuivre $CuCl^2$, $3(CuO,H^2O)$. Cristaux magnifiques très simples de forme; ils portent uniquement les faces du prisme et d'un macrodôme. Vert-émeraude, éclat subadamantin. — Mine de Burra-Burra (Nouvelle-Zélande).



1 et 2. **Cuivre natif** *ramuleux.* *3.* **Cuprite.** *Oxydule de cuivre en cristaux.* *4.* **Chalcosine.** *Sulfure cuivreux cristallisé.* *5.* **Chalcosine** *pseudomorphique.* *6.* **Chalcopyrite.** *Sulfure double de fer et de cuivre cristallisé.* *7.* **Chalcopyrite** *massive.* *8.* **Chalcopyrite** *avec Hématite et Malachite.* *9.* **Malachite.** *Carbonate basique de cuivre hydraté fibreux.* *10.* **Malachite** *en rognons.* *11.* **Malachite.** *Plaque polie.* *12.* **Azurite.** *Carbonate basique de cuivre hydraté cristallisé.* *13.* **Azurite** *bleue sur* **Malachite** *verte.* *14.* **Atacamite** *cristallisée.*

MINERAIS DE PLOMB ET DE ZINC

MINERAIS DE PLOMB

Le plomb est très répandu dans la nature, la plupart du temps dans les filons à l'état de galène (sulfure). Ce minéral contient ordinairement de l'argent que l'industrie a tout intérêt à extraire. Aussi la métallurgie du plomb comporte-t-elle le plus souvent des traitements appropriés à l'extraction de ce métal précieux.

Les principaux minerais sont la *galène* (sulfure ordinairement argentifère), la *pyromorphite* (chlorophosphate), la *mimétèse* (chloroarséniate), la *mélinose* (molybdate). La galène seule se trouve en quantités assez abondantes pour donner lieu à une exploitation fructueuse.

Galène. — Sulfure de plomb PbS. Gris-de-plomb, éclat métallique. Dureté, 2,5 à 2,75. Densité assez forte, 7,4 à 7,6. Opaque et cristallisant dans le système cubique. Clivages faciles parallèlement aux faces du cube.

Fusible au chalumeau avec dégagement de vapeurs sulfureuses. Donne sur le charbon un globule malléable et une auréole jaune.

G. cristallisée. — En cubes ou en octaèdres, soit simples, soit diversement modifiés, portant, par exemple, les faces du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal (pl. IV, fig. 1, 2, 3).

G. pseudomorphique. — En prismes hexagonaux provenant de la décomposition de la pyromorphite ou en prismes et en octaèdres orthorhombiques dus à la transformation du carbonate (cérusite).

G. stalactitique. — Assez rare.

G. lamellaire, saccharoïde, compacte. — Ce sont les formes les plus ordinaires.

La galène se retrouve depuis les terrains primitifs jusqu'à la fin des terrains secondaires. Elle est tantôt en filons, tantôt en couches, souvent associée à la pyrite, la marcasite, la blende, la chalcopyrite, l'anglésite (sulfate) et la cérusite (carbonate), qui proviennent sans doute de son altération.

Elle est souvent argentifère, et à partir d'une teneur en argent de 1 pour 100 elle devient un minerai exploitable de ce métal. Aucun caractère extérieur d'ailleurs ne peut déceler cette composition. La galène pulvérisée, sous le nom d'*alquifoux,* sert à former la couverte des poteries grossières.

Les principaux gisements sont : Freiberg (Saxe), Linarès (Espagne), Clausthal et Neudorf (Harz), Przibrâm (Bohême), Bleiberg (Carinthie), Poullaouen, le Huelgoat (Bretagne). On la rencontre encore en Styrie, en Cornouaille, au Derbyshire (Angleterre), en Sibérie, au Chili, etc.

Pyromorphite. — Chlorophosphate de plomb $3(P^2O^5, 3PbO),PbCl^2$. Vert-d'herbe, vert-olive, jaune violâtre ou brune, poussière jaunâtre.

Dureté, 3,5 à 4. Poids spécifique, de 6,5 à 7,1. Cristallise en prismes hexagonaux; translucide, éclat adamantin ou résineux. Donne au tube fermé un sublimé de chlorure de plomb lorsqu'on la chauffe; facilement fusible, se concrète en globules montrant de nombreuses facettes.

La pyromorphite renferme très souvent de l'arsenic, et on observe tous les passages à la mimétèse, qui lui est isomorphe.

P. cristallisée. — Ordinairement en prismes hexagonaux basés avec nombreuses modifications sur les arêtes basiques. Les faces du prisme hexagonal sont souvent striées (pl. IV, fig. 4, 5).

P. aciculaire. — Petites pyramides aiguës et très déliées, souvent très serrées les unes contre les autres.

P. mamelonée ou botryoïde. — En mamelons incrustant différents corps.

La pyromorphite est un minéral filonien; elle tapisse généralement les fentes des gîtes de plomb. Les principaux gisements sont :

Poullaouen et le Huelgoat (Bretagne), Pontgibaud (Puy-de-Dôme), la Croix-aux-Mines (Vosges), Zschopau (Saxe), Przibrâm, Mies, Bleistadt (Bohême), Freiberg, Clausthal (Harz), Ems, Braubach (Nassau), Berezow (Sibérie).

Mimétèse. — Chloroarséniate de plomb $3(As^2O^5, 3PbO),PbCl^2$. Substance jaune clair, orangée ou jaune-brun, à poussière blanche. Dureté, 3,5. Densité, 6,9 à 7,3. Fragile.

Cristallise comme la pyromorphite en prismes hexagonaux.

Difficilement fusible et donne du plomb métallique sur le charbon.

M. cristallisée. — En prismes hexagonaux surmontés de pyramides de plus en plus surbaissées donnant aux cristaux l'apparence de petits tonnelets (pl. IV, fig. 6).

M. fibreuse. — A fibres parallèles.

M. mamelonnée. — En incrustations sur d'autres minerais.

Les principales localités où sa présence a été constatée sont : Saint-Prix-sous-Beuvray, Ville-Vieille, près de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), Johanngeorgenstadt (Saxe), Champallement, près de Nevers, Langbân (Suède), Phénixville (Pennsylvanie).

Mélinose. — Molybdate de plomb $PbMoO^4$. Jaune-

de-miel ou jaune-de-cire, jaune-orangé. Éclat adamantin. Dureté, 3. Densité, de 6,3 à 6,9.

Cristallisant en prismes quadratiques avec hémiédrie pyramidale.

M. cristallisée. — En tables quadratiques aplaties, terminées latéralement par une protopyramide et portant souvent des modifications hémièdres (fig. 7, pl. IV).

M. lamelliforme.

La mélinose est un minéral de filons. On l'a rencontrée à Bleiberg (Carinthie), à Annaberg (Saxe), au Tyrol, en Transylvanie, à Zunapan, au Mexique.

MINERAIS DE ZINC

Le zinc est un métal possédant une grande affinité pour l'oxygène et le soufre; ses minerais sont donc assez difficiles à réduire, et on ne le rencontre jamais à l'état natif. Les principaux composés naturels sont la *blende* (sulfure), la *zincite* (oxyde) et la *smithsonite*.

Blende. — Sulfure de zinc ZnS. Jaune-de-miel, jaunâtre, verte, brune, rouge ou noire. Éclat adamantin quelquefois gras, opaque, translucide ou transparente. Poussière jaune ou brune, rarement blanche. Dureté, 3,5 à 4. Densité, 3,9 à 4,1.

Cristallise dans le système cubique avec hémiédrie tétraédrique. Clivage parallèle aux faces du dodécaèdre rhomboïdal. Phosphorescente et pyroélectrique. Presque infusible et décrépite fortement. Elle est souvent mélangée à la galène, qui lui communique une coloration noire.

Blende cristallisée. — En cubes, en octaèdres souvent maclés, en tétraèdres portant les faces du cube. Les faces des octaèdres ne sont pas de même nature : les unes portent des stries, les autres sont polies. Les cristaux provenant de la dolomie du Binnenthal (Suisse) sont remarquables par leur netteté (pl. IV, fig. 8 et 9).

Blende lamellaire. — Masses compactes dont la cassure présente des lamelles plus ou moins développées. C'est le minerai le plus commun (pl. IV, fig. 10).

Blende grenue.

Blende concrétionnée. — En rognons et en dépôts sur diverses substances.

La blende se rencontre rarement isolée. Elle est presque toujours associée à d'autres minerais, surtout à la galène dans les roches cristallophylliennes et les roches sédimentaires. On rencontre des gisements dans le Derbyshire, le Cumberland, la Cornouaille (Angleterre), en Transylvanie, en Hongrie, à Sahla (Suède), en Bohême, en Saxe, dans le Missouri, le Wisconsin, l'Iowa et l'Illinois (États-Unis), etc.

Zincite. — Oxyde de zinc ferrifère ZnO, rouge ou rouge-orangé. En lamelles hexagonales, en masses laminaires, ou en grains foliacés accompagnant la franklinite à New-Jersey.

Smithsonite. — Carbonate de zinc $ZnCO^3$. Blanche, jaunâtre, grisâtre ou incolore. Dureté, 5. Densité, 4,3 à 4,45.

Cristallisant dans le système rhomboédrique; biréfringence énergique; infusible.

Smithsonite cristallisée. — Ordinairement en petits cristaux dans des géodes ou sur d'autres minerais (pl. IV, fig. 12).

S. stalactitique. — En stalactites ou en concrétions. On rencontre les diverses variétés à Aulus (Pyrénées), à Holywall, Allonhead (Angleterre), à Bleiberg (Carinthie), à Rezbanya (Banat), à Nertschinsk (Sibérie), au Laurium (Grèce), etc.

PLANCHE IV

1. **Galène.** — Sulfure de plomb PbS. Cubes réguliers gris bleuâtre à éclat métallique. — Andreasberg (Harz).

2. **Galène.** — Cubes groupés en associations parallèles, sur fluorine également en cubes.

3. **Galène.** — Combinaison du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal, sur sidérose rhomboédrique. — Neudorf (Harz).

4. **Pyromorphite.** — Chlorophosphate de plomb $3[P^2O^5,3PbO],PbCl^2$ en prismes hexagonaux basés vert-olive, striés verticalement. — Phénixville (Pennsylvanie).

5. **Pyromorphite.** — Cristaux de même forme brun-girofle sur quartz compact blanc. — Mine de Friedrichsegen (Nassau).

6. **Mimétèse.** — Chloroarséniate de plomb

$$3[As^2O^5,3PbO],PbCl^2,$$

correspondant arsénié de la pyromorphite et isomorphe avec elle. Cristaux jaune-brun à éclat gras, terminés par diverses pyramides hexagonales leur donnant l'aspect de tonnelets. — Cumberland.

7. **Mélinose.** — Molybdate de plomb $PbMoO^4$. Cristaux orangés tabulaires appartenant au système quadratique. La base est très développée, et ils portent des faces correspondant à l'hémiédrie tournante. — Arizona (Amérique).

8. **Blende.** — Sulfure de plomb PbS. Cristaux d'un jaune rougeâtre à éclat adamantin. Ils portent les faces du dodécaèdre rhomboïdal et d'un octotriédre. Sur quartz. — Hongrie.

9. **Blende** transparente brun-rouge à faces striées, éclat adamantin. — Ems.

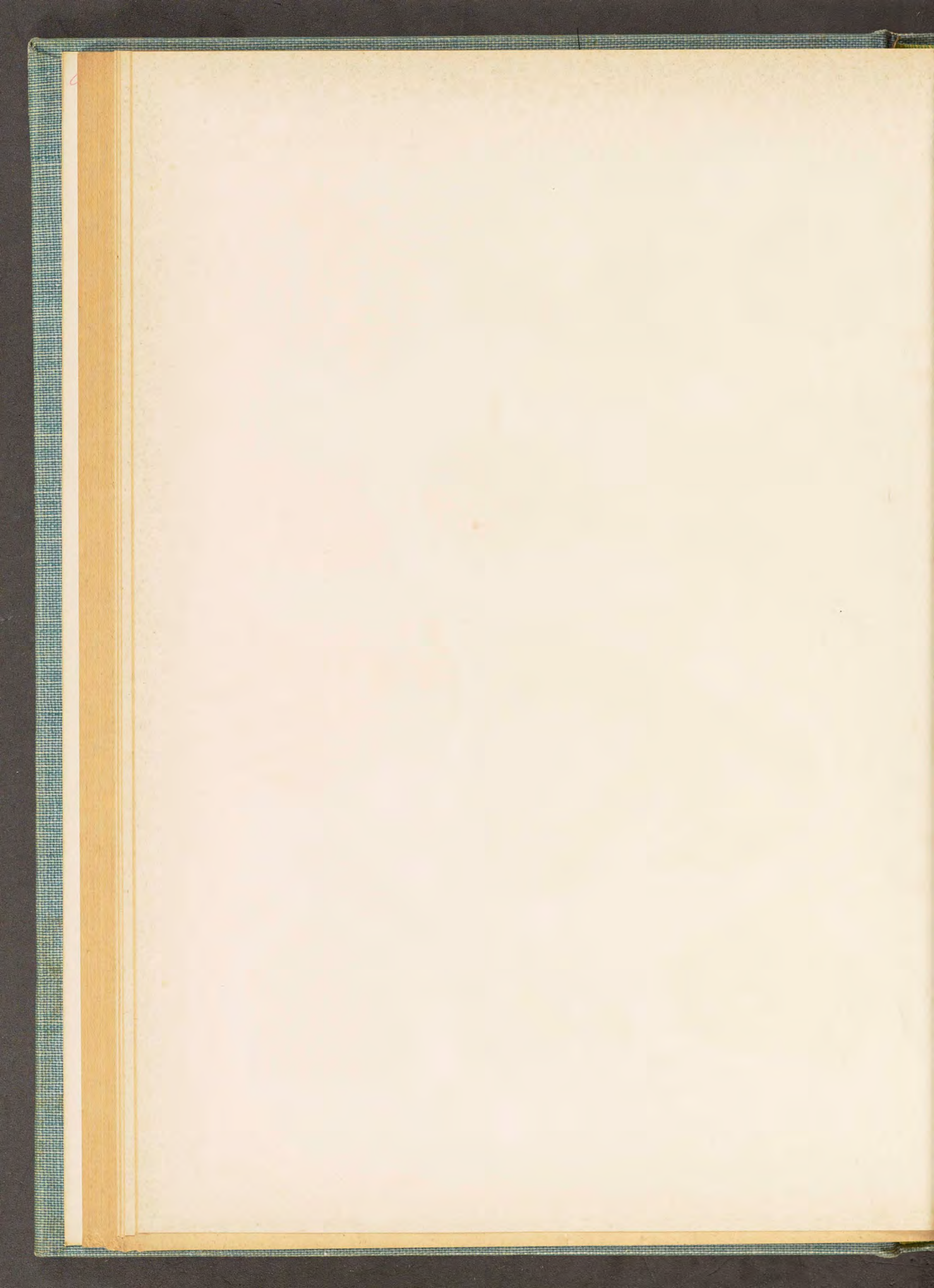
10. **Blende** noire en inclusions dans un filon enveloppant des noyaux de gneiss décomposé, cimentés par un mélange finement cristallisé de quartz et de blende. — Schauinsland (Forêt Noire).

11. **Zincite.** — Oxyde de zinc ZnO ferrifère rouge. En grains à texture foliacée, avec franklinite (noire) et petites quantités de calcite (blanche). — New-Jersey.

12. **Smithsonite.** — Carbonate de zinc $ZnCO^3$ en enduit de petits cristaux rhomboédriques sur un mélange d'oxyde de fer et de substance argileuse très riche en zincite. — Altenberg (Erzgebirge).



1 et 2. **Galène.** *Sulfure de plomb en cubes.* *3.* **Galène.** *Cristal cubique modifié.* *4 et 5.* **Pyromorphite.** *Chlorophosphate de plomb cristallisé.* *6.* **Mimetèse.** *Chloroarséniate de plomb cristallisé.* *7.* **Mélinose.** *Molybdate de plomb cristallisé.* *8.* **Blende.** *Sulfure de plomb cristallisé.* *9.* **Blende** *massive.* *10.* **Blende** *en inclusions dans une roche.* *11.* **Zincite.** *Oxyde de zinc ferrifère rouge.* *12.* **Smithsonite.** *Carbonate de zinc en enduit de petits cristaux.*



MINERAIS DE FER

Ce sont les plus importants, les plus répandus de tous les minerais, et il n'y a qu'un très petit nombre de roches qui en soient exemptes. Il en existe dans tous les terrains, et souvent en masses énormes.

Toutefois, les difficultés d'extraction dues aux affinités puissantes du métal pour l'oxygène et pour le soufre limitent leur exploitation à un petit nombre d'espèces. Les principaux composés naturels du fer sont : le *fer natif*, très rare et presque toujours d'origine météorique; la *pyrite*, la *marcasite*, la *pyrrhotine* (sulfures), l'*oligiste* et la *magnétite* (oxydes anhydres), l'*hématite brune*, la *gœthite*, la *limonite* (oxydes hydratés), la *sidérose* (carbonate), la *vivianite* (phosphate), la *scorodite* (arséniate).

Fer natif. — Son existence en tant que minéral terrestre a été mise en doute, toutefois un certain nombre d'observateurs prétendent en avoir trouvé des échantillons dans diverses roches et dans divers filons ferrifères, mais toujours en petite quantité. Les masses considérables rencontrées jusqu'à ce jour se présentent dans tous les terrains sans rapports avec aucune formation géologique. On peut donc leur attribuer une origine météorique. L'importance du fer est telle dans la constitution des aérolithes que sa présence suffit à établir leur classification en *holosidères*, *syssidères* et *asidères*, suivant qu'il les compose en totalité, en partie seulement, ou qu'il y fait complètement défaut. Il est toujours associé à une grande proportion de nickel, et mélangé à divers minéraux dont les uns constituent des espèces terrestres, telles que le péridot (pl. V, fig. 2), le pyroxène, le labrador, tandis que d'autres sont sans analogues, telles que la schreibersite (phosphure de fer) et la troïlite (protosulfure de fer).

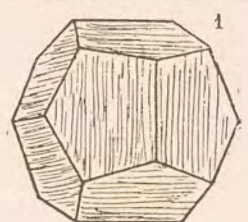
Le fer météorique poli et attaqué par les acides présente des stries en quadrillage caractéristique dites figures de Widmanstætten (pl. V, fig. 1). On nomme généralement les météorites du nom du lieu où on les a découvertes.

Pyrite cubique. — Sulfure de fer FeS^2. Ce corps est dimorphe et constitue sous une seconde forme la marcasite. (Voir plus bas.) Jaune-de-bronze à éclat métallique.

Dureté, 6 à 6,5. Densité, 4,83 à 5,1. Poussière noir brunâtre; opaque; cassure conchoïdale ou inégale. Fragile, fait feu au briquet. Pyroélectrique.

Cristallise dans le système cubique avec hémiédrie à faces parallèles.

P. cristallisée. — En cubes dont les faces sont ordinairement striées parallèlement aux arêtes dans deux directions perpendiculaires sur les faces adjacentes à une même arête (pl. V, fig. 3, 4), ces cubes sont souvent modifiés par les faces de l'octaèdre; en dodécaèdres pentagonaux (pl. V, fig. 5) striés parallèlement aux arêtes du cube, dont ils portent quelquefois les faces (fig. 114_1, 114_2); en icosaèdres, solides à vingt



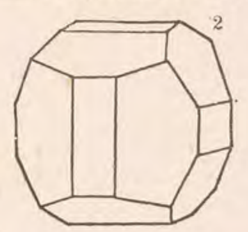


Fig. 114.

faces triangulaires résultant de la combinaison de l'octaèdre et du dodécaèdre pentagonal dont les angles trièdres correspondant aux axes ternaires sont ainsi remplacés par des triangles équilatéraux; enfin en diploèdres. Un même cristal réunit souvent ces dernières modifications. Les cristaux de Traverselle (Piémont) présentent jusqu'à 98 facettes.

P. stalactitique, en concrétions mamelonnées.

P. dendritique, en dendrites superficielles sur différents minéraux, principalement sur les schistes ardoisiers, accompagnant des cubes plus ou moins déformés (pl. V, fig. 7).

P. pseudomorphique, qui a pris la forme de fossiles dont elle a remplacé la substance organique (pl. V, fig. 6).

P. compacte, en masses de forme indéterminée, à cassure conchoïdale.

P. décomposée, en partie transformée en hématite ou en limonite par altération.

La pyrite se trouve dans tous les terrains. On la rencontre en veines et en filons dans les roches anciennes, mais plus généralement en cristaux et en veines dans les gîtes métallifères. Sa couleur et son éclat métallique ont donné souvent lieu à des méprises et elle a été très souvent confondue avec l'or. En fait, elle accompagne ordinairement ce dernier dans les gisements, et *a priori* toute pyrite filonienne doit être suspectée comme minerai aurifère et essayée comme telle. Elle devient exploitable quand elle contient 20 gr. d'or à la tonne.

Les localités suivantes sont réputées pour la beauté de leurs cristaux : île d'Elbe; Traverselle (Piémont); Brasso, Müsen, près de Siegen; Freiberg, Schneeberg (Saxe); Przibram (Bohême); Schemnitz (Hongrie); Falun et Langbân (Suède), Konsberg (Norvège), etc.

La pyrite massive se rencontre en dépôts considérables à Rio-Tinto et autres mines d'Espagne, en Portugal, aux États-Unis à Rowe (Massachusetts), etc.

La pyrite n'est pas usitée dans la métallurgie du fer, à cause de la difficulté de lui enlever la totalité du soufre, mais on la transforme, par le grillage et l'exposition à l'air, en sulfate de fer. Son éclat et son beau poli la font employer en bijouterie à la fabrication de boutons et de têtes d'épingles. Ainsi taillée, elle porte le nom impropre de *marcasite*. Les antiques sépultures du Pérou ont fourni de larges plaques polies de ce minéral, que l'on a considérées comme des miroirs, d'où le nom de *miroir des Incas* qui lui est parfois donné. Avant l'invention des capsules fulminantes, elle a servi à remplacer la pierre à fusil, et on la désignait sous le nom de *pierre d'arquebuse*.

Marcasite. — Deuxième forme du sulfure de fer FeS^2. Jaune livide ou jaune verdâtre, éclat métallique. Dureté, 6 à 6,5. Densité, 4,6 à 4,8.

Elle cristallise dans le système orthorhombique. Elle est très altérable à l'air, ce qui la différencie de la pyrite. Sa surface est souvent altérée en limonite, qui la recouvre d'un enduit protecteur; mais si l'on vient à la briser, l'action oxydante de l'air la transforme très rapidement en sulfate.

M. Michel a constaté que les nodules provenant des roches calcaires ont souvent à leur intérieur un noyau de gypse que l'on peut en extraire en cassant le rognon.

M. cristallisée, en prismes orthorhombiques dont les bases sont remplacées par les faces d'un, deux ou trois brachydômes superposés; en octaèdres surbaissés à base rectangle ou à base rhombe.

M. globuleuse, en boules hérissées de pointes d'octaèdres; très fréquente dans la craie. Les cristaux sont plus ou moins oblitérés, et la surface ordinairement recouverte d'une couche de limonite.

M. crêtée. — Groupes d'apparence dendritique composés de macles de cinq cristaux réunis par les faces du prisme et figurant une crête de coq (pl. V, fig. 8).

Les gisements sont à peu près les mêmes que ceux de la pyrite. On la trouve surtout dans la craie, mais sa présence dans les gîtes carbonifères constitue un danger, à cause de sa facile altérabilité à l'air. On lui attribue souvent la combustion spontanée de la houille, à Commentry par exemple. On la rencontre dans les argiles du carbonifère, à Littmitz et Altsaltet près Carlsbad, en Bohême. La variété crête de coq se présente avec galène et fluorine dans le Derbyshire, à Folkestone, etc.

Oligiste. — Sesquioxyde de fer anhydre Fe^2O^3. Substance gris-d'acier ou noir-de-fer à éclat métallique, rouge-brun en écailles minces (dans les variétés terreuses), cassure subconchoïdale et inégale, poussière rouge. Dureté, 5,5 à 6,5. Densité, 4,5 à 5,3.

Cristallise dans le système rhomboédrique. C'est un minerai de fer très recherché; il donne du fer de bonne qualité, et les gisements importants sont exploités.

Il présente de nombreuses variétés, dont les principales sont :

O. cristallisé. — En rhomboèdres, diversement modifiés. La base est généralement assez développée et leur donne une apparence tabulaire, hexagonale (pl. V, fig. 9, 10, 11); souvent le rhomboèdre primitif et son inverse sont réunis. Sur d'autres échantillons on rencontre les faces d'un isocéloèdre. Les faces du rhomboèdre primitif sont souvent striées.

O. cristallisé pseudomorphique. — En cristaux octaédriques réguliers provenant de la suroxydation de la magnétite (puy de Dôme, puy de Salomon).

O. lenticulaire. — Rhomboèdres aplatis plus ou moins surbaissés, à faces arrondies (pl. V, fig. 12).

O. laminiforme, dit *fer spéculaire* des volcans. Ce sont des rhomboèdres basés très aplatis par suite du développement considérable des bases (pl. V, fig. 10).

O. laminaire. — Masses feuilletées formées de rhomboèdres très aplatis empilés normalement à l'axe principal.

O. schisteux. — Masses schisteuses, à feuillets composés de petites écailles.

O. écailleux. — Agrégats d'écailles brillantes d'un rouge vif, très légères et qui s'attachent aux doigts.

O. ocreux. — Variété terreuse souvent mélangée d'argile.

O. fibreux rouge (HÉMATITE ROUGE) (pl. VI, fig. 1), en fibres aciculaires divergentes formant des masses arrondies.

La variété fibreuse sert à faire des brunissoirs, les variétés ocreuses sont employées en peinture et constituent la base de l'ocre rouge et du rouge de Prusse.

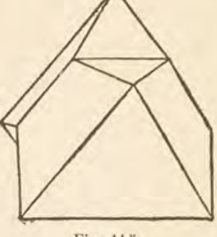
Les plus beaux cristaux viennent de l'île d'Elbe, renommée pour ses minerais depuis l'antiquité, témoin ce vers d'Ovide :

Insula inexhaustis chalybdum generosa metallis.

Le Saint-Gothard fournit des cristaux en rosettes (pl. V, fig. 9). On la trouve en beaux cristaux près de Limoges; près de l'Etna et du Vésuve, où elle provient des actions volcaniques; à Arendal, en Norvège; à Framont, en Lorraine; dans le Dauphiné; en Suisse. L'hématite rouge se trouve près d'Ulverstone, dans le Lancashire; en Saxe; en Bohême; au Harz, en Westphalie (pseudomorphose de calcite); au Brésil; etc.

Magnétite (*fer oxydulé*). — Oxyde salin de fer FeO,Fe^2O^3 ou Fe^3O^4. Noir-de-fer, à poussière noire, à éclat métallique ou submétallique. Dureté, 5,5 à 6,5. Densité, 4,9 à 5,2. Cristallise dans le système cubique, opaque, à cassure brillante subconchoïdale, fortement attirable à l'aimant et possédant quelquefois l'aimantation naturelle. Elle fond avec difficulté au chalumeau en perdant sa propriété magnétique.

La magnétite se rencontre en dépôts dans les gneiss ou en cristaux isolés dans les schistes argileux, les schistes amphiboliques, la chlorite, la serpentine, les basaltes, et exceptionnellement dans les calcaires cristallins. Elle est souvent associée à l'émeri. On ne la trouve jamais dans les terrains de sédiment.


Fig. 115.

M. cristallisée. — En octaèdres plus ou moins modifiés (pl. V, fig. 13 et 14). L'échantillon médian de la figure 13 représente deux cristaux maclés suivant la loi des spinelles. La figure ci-contre montre l'aspect théorique de cette macle.

M. laminaire. — Masses à cassure schisteuse toujours mélangées d'oligiste.

M. compacte. — Masses à cassure conchoïdale irrégulière ou grenue.

La magnétite forme quelquefois des montagnes entières (Taberg, en Smœland) ou des couches, à Dannemora, Persberg, Nordmarken (Suède), Arendal (Norvège), à Blagodat, à Kescanar dans l'Oural; à Traverselle, en Piémont. On la rencontre encore en amas dans les Alpes de Savoie, du Piémont, du Tyrol, etc.

C'est le meilleur minerai de fer, qu'il fournit très pur. Il constitue la principale richesse minérale de la Suède et de la Norvège.

Franklinite. — Spinelle de fer, de zinc et de manganèse $(Zn,Fe,Mn)O,(Fe,Mn)^2O^3$.

Substance noire, à éclat métalloïde, peu ou pas attirable à l'aimant. Difficilement fusible au chalumeau. Comme tous les spinelles, elle présente ordinairement la forme de l'octaèdre régulier. Elle est transparente en lames minces. On la rencontre accompagnant la zincite à New-Jersey (pl. V, fig. 15).

PLANCHE V

1. **Fer météorique.** — Échantillon poli montrant les figures de Widmanstætten par corrosion à l'aide d'un acide. — Fer de Toluka.

2. **Pallasite.** — Fer météorique avec inclusions d'olivine, qui, primitivement vert-bouteille, s'est recouverte à la surface d'un enduit jaune-brun d'oxyde de fer. L'échantillon est fortement strié. — Kiowa (Kansas).

3. **Pyrite.** — Sulfure de fer FeS^2 cubique. Cubes portant les stries caractéristiques de l'espèce alternant en direction sur deux faces adjacentes à une même arête. — Devonshire.

4. **Pyrite.** — Cube strié portant les facettes de l'octaèdre. — Herrensegen (Forêt Noire).

5. **Pyrite.** — Dodécaèdre pentagonal portant les stries parallèles aux arêtes du cube. — Piémont.

6. **Pyrite.** — Cristaux cubiques groupés sur un *Amalthus margaritatus* transformé lui-même en pyrite par pseudomorphose. Lias moyen. — Wurtemberg.

7. **Pyrite.** — Nombreux cubes implantés dans un calcaire bitumineux. — Harz.

8. **Marcasite.** — Sulfure de fer orthorhombique FeS^2 (dimorphisme du sulfure de fer). Macles composées de 5 cristaux accolés suivant des faces du prisme. Variété dite *crête de coq*. — Folkestone (Angleterre).

9. **Oligiste.** — Oxyde de fer anhydre F^2O^3. En association de cristaux tabulaires, formés du prisme hexagonal et de la base, appartenant au système rhomboédrique; éclat métallique, noir bleuâtre. — Saint-Gothard.

10. **Oligiste** avec quartz. — Saint-Gothard.

11. **Oligiste** en masse lamellaire avec inclusions de rutile en prismes rouge-hyacinthe orientés. — Saint-Gothard.

12. **Oligiste** en cristaux tabulaires à faces courbes. — Marina-di-Rio (île d'Elbe).

13. **Magnétite.** — Oxyde salin de fer Fe^3O^4. Octaèdre régulier parfait, octaèdre déformé par allongement suivant un axe quaternaire (cristal de gauche) et macle de deux octaèdres suivant la loi des spinelles (cristal du milieu). Noir-de-fer, éclat variable. — Greinerberg, Zillerthal.

14. **Magnétite** en octaèdres réguliers dans un schiste gris verdâtre. — Pfitsch, Tyrol.

15. **Franklinite.** — Spinelle de zinc, de fer et de manganèse $(ZnFe)O,(FeMn)^2O^3$. Octaèdres réguliers dans un marbre à grains fins. — New-Jersey.



1. **Fer météorique** *montrant les figures de Widmanstätten.* *2.* **Pallasite** *(Fer météorique) avec inclusions de Péridot.* *3.* **Pyrite.** *Bisulfure de fer, cristal cubique.* *4.* **Pyrite.** *Cristal cubique modifié.* *5.* **Pyrite** *en dodécaèdre pentagonal.* *6.* **Pyrite** *pseudomorphique et cristallisée.* *7.* **Pyrite** *en cubes dans une roche schisteuse.* *8.* **Marcasite.** *Bisulfure de fer orthorhombique en cristaux maclés.* *9 et 10.* **Oligiste.** *Sesquioxyde de fer cristallisé.* *11.* **Oligiste** *lamellaire.* *12.* **Oligiste.** *Cristaux à faces courbes.* *13.* **Magnétite.** *Oxyde salin de fer. Cristaux isolés dont l'un présente la macle des Spinelles.* *14.* **Magnétite.** *Octaèdres dans une roche.* *15.* **Franklinite.** *Oxyde complexe de fer de manganèse et de zinc, Octaèdres réguliers dans un calcaire.*

MINERAIS DE FER (Suite).

Hématite brune ou **Limonite.** — Sesquioxyde de fer hydraté $2Fe^2O^3,3H^2O$. Substance brune, noire ou jaune. Eclat variable métalloïde ou submétallique dans les variétés concrétionnées, terne dans les variétés granulaires. Poussière jaune dans tous les cas. Dureté, 5 à 5,5. Densité, 3,6 à 4. Cassure unie ou fibreuse. Amorphe.

H. globuleuse. — En masses sphéroïdales noires, à surface polie, à éclat métalloïde (pl. VI, fig. 2).

H. stalactitique ou mamelonnée. — A structure fibreuse testacée ou compacte, noire ou noir brunâtre (pl. VI, fig. 3 et 4).

L. géodique (*Pierre d'aigle,* ou *Ætite*). — Rognons creux contenant un noyau libre à l'intérieur.

L. pisolitique. — En grains arrondis testacés, isolés ou réunis par un ciment le plus souvent de nature calcaire (pl. VI, fig. 6 et 7).

L. oolitique. — En petits grains soudés ressemblant à des œufs de poisson.

L. ocreuse. — Matière terreuse, d'un jaune plus ou moins foncé, souvent mélangée à des matières argileuses.

Les variétés concrétionnées et fibreuses sont généralement noires ou brun foncé; les variétés pisolitiques, brun ferrugineux; les variétés oolitiques et terreuses, jaune plus ou moins brunâtre. Ces dernières, quand elles ont une belle teinte, sont employées en peinture sous le nom d'*ocres*.

On rencontre des gisements importants dans les terrains secondaires, le grès houiller et le grès rouge, dans les Vosges; à Wolfsberg en Saxe-Gotha; à Mainland dans les Shetland. Elle est surtout abondante dans le jurassique, où l'on trouve des couches puissantes en Normandie, dans le Berry, en Bourgogne, en Bourbonnais, en Lorraine, en Franche-Comté, etc.

Ce minerai donne un fer inférieur en qualité à celui qui provient de la magnétite. C'est le minerai de fer français par excellence.

Gœthite. — Sesquioxyde de fer hydraté Fe^2O^3,H^2O, moins hydraté que la limonite.

Couleur jaunâtre, rougeâtre ou brun noirâtre; éclat subadamantin. Dureté, 5 à 5,5. Densité, 3,8 à 4,4.

Cristallise en prismes orthorhombiques.

Opaque en masses, elle transmet une lumière rouge-de-sang; clivage parfait suivant le brachypinacoïde, poussière jaune.

G. cristallisée. — Petits prismes orthorhombiques striés longitudinalement, ou cristaux tabulaires aplatis suivant le brachypinacoïde.

G. réniforme. — En rognons à structure fibreuse divergente ordinairement accompagnés de cristaux accolés (pl. VI, fig. 5).

Ce minéral accompagne les autres gîtes de fer à Siegen et en Cornouaille. On le rencontre encore à Clifton, près de Bristol, en Sibérie, à Przibrâm, etc.

Sidérose. — Carbonate de fer $FeCO^3$.

Couleur gris-de-cendre, gris jaunâtre, gris verdâtre, brune, devenant brun-rouge par exposition à l'air. Eclat vitreux, poussière blanc jaunâtre, fragile. Dureté, 3,5 à 4,5. Densité, 3,83 à 3,88.

Cristallise dans le système rhomboédrique, isomorphe de la calcite, de la dolomie et de la dialogite.

Chauffée au chalumeau, elle décrépite, brunit et devient attirable à l'aimant. Se dissout lentement à froid dans les acides en donnant des bulles de gaz carbonique.

S. cristallisée. — En rhomboèdres de 107°, en rhomboèdres aigus obtenus par troncature sur les angles latéraux, ou encore, mais rarement, en prismes hexagonaux (pl. VI, fig. 8).

S. lenticulaire. — Groupement de rhomboèdres très surbaissés, souvent empilés suivant l'axe principal et présentant une apparence feuilletée.

S. réniforme. — En rognons plus ou moins volumineux disséminés dans les schistes carbonifères, quelquefois dans la houille elle-même.

S. mamelonnée (variété *sphérosidérite*). — En mamelons concrétionnés dans les basaltes et les amygdaloïdes.

S. lamellaire. — En masses compactes, à cassure et texture lamellaires.

S. oolitique. — Ressemble à la variété d'hématite brune de même nom.

S. compacte. — En lits ou en tubercules isolés dans les terrains carbonifères.

La sidérose cristallisée est un minéral filonien; les beaux cristaux viennent de Brosso, en Piémont; de Baigorry (Pyrénées); de Sainte-Agnès, Lostwithiel et Land's-End (Angleterre). Les variétés mamelonnées se rencontrent dans les basaltes et les amygdaloïdes à Hanau, à Steinheim, à Drausberg; en Amérique, à Plymouth (Vermont) et à Sterling (Massachusetts). C'est un excellent minerai de fer.

Pyrrhotine. — Sulfure magnétique de fer (Fe^nS^{n+1}), composition intermédiaire entre Fe^6S^7 et $Fe^{11}S^{12}$.

Couleur jaune-de-bronze, brun-tombac; à éclat métallique faible. Dureté, 3,5 à 4,5. Cristallise dans le système hexagonal.

Poussière gris sombre. Fracture subconchoïdale.

P. cristallisée. — En prismes à 6 ou à 12 pans quelquefois terminés par une pyramide, ou encore en lamelles hexagonales (pl. VI, fig. 9).

P. lamellaire. — Petites masses composées de minces cristaux à fracture lamellaire.

P. compacte. — En petites masses, en filaments, en petits amas dans les micaschistes, à Bodenmais (Bavière); à Auerbach, en Hesse-Darmstadt; à Nantes, dans une diorite; dans les gites métallifères à Konsberg, Eger (Suède), à Fahlun (Suède), etc.

Vivianite. — Phosphate de fer $3FeO,P^2O^5,8H^2O$.

Couleur bleue ou bleu verdâtre se fonçant à l'air.

Dureté, 1,5 à 2. Densité, 2,53 à 2,58.

Cristallise en prismes clinorhombiques.

Eclat perlé sur certaines faces, vitreux sur les autres; poussière blanchâtre devenant bleu-indigo à l'air.

On l'a rencontrée à Sainte-Agnès et à Truro (Cornouaille) en cristaux bleu-indigo; en cristaux lenticulaires empilés dans la rivière de Weckeshein (Witterau); enfin près de Heidelberg en masses terreuses (pl. VI, fig. 10, 11 et 12).

Scorodite. — Arséniate de fer hydraté Fe^2O^3,As^2O^5; $4H^2O$, couleur bleu pâle ou bleu verdâtre, translucide, à cassure inégale. Dureté, 3,5 à 4. Densité, 3,1 à 3,3. Eclat vitreux, subadamantin ou résineux.

Cristallisée en prismes orthorhombiques.

Provenances principales : Chanteloube, près Limoges; province de Minas-Geraës (Brésil), Schwarzenberg (Erzgebirge) (pl. VI, fig. 13).

Dendrites de fer et de manganèse. — Ces métaux appartenant à la même famille sont ordinairement associés. Dans les fentes des calcaires lithographiques, les infiltrations ont souvent déposé des végétations superficielles d'oxydes de ces deux métaux, en forme de feuilles de fougère. Les fig. 15 de la planche VI, 1 et 2 de la planche VII, en fournissent des exemples; on y reconnaît le canal par lequel les liquides chargés de sels ont été introduits. Le carbonate de chaux précipite en effet les solutions des sels de sesquioxydes.

MINERAI DE COBALT

Erythrine. — Arséniate de cobalt hydraté $3CoO$, $As^2O^5,8H^2O$. Couleur fleur-de-pêcher, en cristaux clinorhombiques d'une dureté 1,5 à 2,5. Densité, 2,9.

Souvent en fibres cristallines.

Provenances principales : Schneeberg (Erzgebirge), Allemont (Isère), Saalfeld (Thuringe), Modum (Norvège), Cornouaille (Angleterre).

Cette espèce, quand elle est abondante, sert à la fabrication du smalt ou azur artificiel.

PLANCHE VI

1. **Hématite rouge,** fibreuse, Fe^2O^3, à poussière rouge montrant la structure radiée. — Zorge (Harz).

2. **Hématite brune.** — Sesquioxyde de fer hydraté $2Fe^2O^3,3H^2O$, en masses sphéroïdales, à surface émaillée noir brillant, à structure fibreuse rayonnée, poussière brun jaunâtre. — Neuenbourg, Forêt Noire.

3. **Hématite brune** en concrétions mamelonnées stalactiformes montrant les fibres divergentes dans la direction perpendiculaire à l'axe d'allongement. — Environs de Siegen.

4. **Hématite brune** stalactiforme, à structure non fibreuse. — Siegen.

5. **Gœthite.** — Sesquioxyde de fer hydraté Fe^2O^3,H^2O brun rougeâtre, à structure fibreuse rayonnée, poussière jaune. — Ilmenau, Thuringe.

6 et 7. **Limonite pisolitique** en grains sphéroïdaux testacés dont les dimensions varient de celle d'un pois à celle d'une fève. Surface polie et brillante. La gangue contient de l'oxyde de fer et de l'alumine. — Alpes de Souabe.

8. **Sidérose.** — Carbonate de fer $FeCO^3$ en rhomboèdres brun jaunâtre, à éclat vitreux, avec rhomboèdres blancs de calcite. — Neudorf (Harz).

9. **Pyrrhotine.** — Pyrite magnétique Fe^7S^8, petites tables jaune-de-bronze ou brun-tombac appartenant au système hexagonal. — Schneeberg, Tyrol.

10. **Vivianite.** — Phosphate ferreux hydraté P^2O^5, $3FeO,8H^2O$. Cristaux prismatiques clinorhombiques bleus dans une pyrite massive. — Truro (Cornouaille).

11. **Vivianite.** — Cristaux groupés en masses réniformes feuilletées. — Mine de Weckesheim (Wetterau).

12. **Vivianite** compacte en masses bleues réniformes. — Ziegelhausen, près de Heidelberg.

13. **Scorodite.** — Arséniate de fer hydraté As^2O^5, $Fe^2O^3,4H^2O$, en courts prismes orthorhombiques bleu-indigo sur une pyrite massive. — Schwarzenberg (Erzgebirge).

14. **Erythrine.** — Arséniate de cobalt hydraté As^2O^5, $3CoO,8H^2O$; correspond comme constitution chimique et comme forme cristalline à la vivianite. Rouge fleur-de-pêcher dans un quartz grisâtre. — Schneeberg (Erzgebirge).

15. Association de *dendrites* ferrugineuses (jaunes) et manganésifères (noires) dans un calcaire stratifié. — Solenhofen.



1. **Hématite rouge.** *Sesquioxyde de fer anhydre fibreux.* *2.* **Hématite brune.** *Sesquioxyde de fer hydraté fibreux.* *3.* **Hématite brune** *concrétionnée.* *4.* **Hématite brune** *stalactiforme.* *5.* **Goethite.** *Sesquioxyde de fer hydraté fibreux.* *6 et 7.* **Limonite.** *Sesquioxyde de fer hydraté pisolithique.* *8.* **Sidérose.** *Carbonate de fer cristallisé.* *9.* **Pyrrhotine.** *Sulfure de fer hexagonal.* *10.* **Vivianite.** *Phosphate ferreux hydraté bleu cristallisé.* *11.* **Vivianite.** *Cristaux groupés.* *12.* **Vivianite** *réniforme.* *13.* **Scorodite.** *Arséniate ferreux hydraté bleu cristallisé.* *14.* **Erythrine.** *Arséniate de cobalt hydraté rose cristallisé.* *15.* **Dendrites** *de fer (jaunes) et de manganèse (noires).*

MINERAIS DE MANGANÈSE

Le manganèse est un élément très répandu dans la nature, et, par suite de ses grandes analogies chimiques avec le fer, ces deux métaux sont très souvent associés. Le manganèse à l'état de protoxyde peut remplacer isomorphiquement l'oxyde ferreux, et le sesquioxyde de manganèse jouer le rôle du sesquioxyde de fer, du sesquioxyde de chrome et de l'alumine.

Les principaux minerais de ce métal sont la *pyrolusite*, l'*acerdèse*, la *psilomélane* (oxydes) et la *dialogite* carbonate).

Les trois premiers ont une grande importance industrielle, qu'ils doivent à l'excès de l'oxygène qu'ils contiennent sur celui du protoxyde MnO. Ce dernier, en effet, est le seul stable en combinaison. Traités par l'acide chlorhydrique concentré, les premiers donnent en effet une quantité correspondante de chlore par le mécanisme suivant : au bioxyde MnO^2 correspond un chlorure instable $MnCl^4$ qui à 50° perd tout son chlore pour se transformer en $MnCl^2$ correspondant à MnO. Deux atomes de chlore se dégagent donc pour tout atome d'oxygène supplémentaire.

Le protoxyde MnO, éminemment suroxydable à l'air, ne se présente jamais à l'état libre dans la nature, et par suite tous les composés oxydés sont susceptibles de dégager du chlore en plus ou moins grande quantité, d'où leur emploi industriel. La métallurgie du fer nécessite l'emploi d'alliages de fer et de manganèse connus sous le nom de ferromanganèses.

Pyrolusite. — Bioxyde de manganèse MnO^2. Substance gris-d'acier, à éclat métallique vif, à poussière noire. Densité, 4,7 à 5. Dureté, 2 à 2,5; raye la calcite. Infusible au chalumeau, elle devient brun-rouge par calcination en fournissant l'oxyde salin Mn^3O^4. Tache les doigts en noir, bonne conductrice de l'électricité.

La forme primitive est un prisme orthorhombique de 93° 40′. Clivages parallèles aux pans du prisme fondamental et au brachypinacoïde. Présente les variétés suivantes :

P. cristallisée. — Prisme à huit pans formés du prisme fondamental et d'un macroprisme. Les faces sont souvent striées parallèlement aux arêtes de la zone verticale.

P. bacillaire. — Réunion de prismes accolés, déformés et groupés en masses fibreuses divergentes et entrelacées (pl. VII, fig. 4).

P. mamelonnée. — Masses couvertes de petits mamelons à fibres divergentes autour de centres (pl. VII, fig. 3).

P. compacte ou grenue. — Masses cristallines dont la texture varie du compact au grenu et au terreux.

Gisements importants à Eglegsberg et à Ilmenau (Thuringe); en Moravie; à Johanngeorgenstadt et Hirselberg (Westphalie); à Matzka (Transylvanie); aux Etats-Unis à Brandon, Irasbury, Chittendon (Vermont), à Conway (Massachusetts).

La pyrolusite calcinée au rouge fournit de l'oxygène; c'est une préparation de ce gaz. Mais comme le minerai contient des carbonates, il est souillé de gaz carbonique.

Acerdèse. — Sesquioxyde de manganèse hydraté Mn^2O^3,H^2O (ἀ privatif, κέρδος, gain, parce qu'elle dégage moins d'oxygène que la pyrolusite).

Substance brun noirâtre ou noir-de-fer à éclat métalloïde vif, à poussière brune. Dureté, 3,5 à 4; raye la calcite. Densité, 4,3 à 4,4. Infusible, donne de l'eau et de l'oxygène au tube fermé.

La forme primitive est un prisme orthorhombique de 99° 40′. Elle présente les variétés suivantes.

A. cristallisée. — Prismes orthorhombiques généralement striés dans le sens des arêtes et diversement modifiés. Ceux de la planche VII, figure 5, sont terminés par la base.

A. bacillaire. — En cristaux déliés et accolés (pl. VII, fig. 6); ceux de la figure sont accompagnés de barytine.

A. fibreuse. — En fibres brillantes groupées en petites houppes ou en enduits minces sur des stalactites d'hématite brune.

A. dendritique. — En arborisations à la surface de certaines substances minérales telles que le calcaire lithographique (pl. VII, fig. 2), quelquefois associées à des dendrites ferrugineuses (pl. VII, fig. 1).

Cette substance se présente très fréquemment dans la nature. On la rencontre aussi bien dans les terrains cristallophylliens que dans les terrains de sédiment. Dans ces derniers elle constitue des dépôts où elle est souvent associée à des minerais de fer. Les principaux gisements sont ceux de la Voulte (Ardèche), de Sept-Fonds (Allier), de Wezslar et de Ihlfehd (Harz). On la rencontre encore en Saxe, en Bohême, dans la Cornouaille, dans le Devonshire (Angleterre), etc.

Bien que moins avantageuse que la pyrolusite, ses emplois dans l'industrie sont identiques.

Psilomélane. — Cette espèce est un mélange de manganite de baryte BaO,MnO^2 et de divers oxydes de composition très variable.

C'est un minéral noir bleuâtre inclinant au gris-d'acier, à éclat métalloïde, à surface veloutée. Poussière noire. Dureté, 5,5, rayant la fluorine, rayée par l'apatite. Densité, de 3,7 à 4,3. Cassure conchoïdale. Amorphe, pas de clivages. Infusible, dégageant de l'oxygène

au tube fermé et se transformant en oxyde rouge Mn^3O^4 comme les autres espèces.

Psilomélane concrétionnée. — En masses formées de calottes sphériques emboîtées, d'aspect réniforme (pl. VII, fig. 7), ou en masses colonnaires stalactiformes (pl. VII, fig. 8).

P. fibreuse. — Se rencontre en enduits sur divers minerais de fer (pl. VII, fig. 9).

P. terreuse. — En masses friables noires, ternes, tachant les doigts.

Gisements importants à la Romanèche, près Mâcon, près de Thivriers en Périgord, à Naila et Erzberg (Harz), à Schneeberg (Saxe), Siegen, etc.

Dialogite. — Carbonate de manganèse $MnCO^3$. Rouge pâle ou rouge-de-chair, éclat vitreux passant au nacré. Dureté, 3,5 à 4,5. Densité, 3,3 à 3,7. Cassure inégale, clivage parallèle à la base du rhomboèdre. Cristallisant en rhomboèdres de 106° 51'; brunit quand elle est fortement chauffée et perd au tube fermé de l'anhydride carbonique. Infusible. Double réfraction énergique. Elle présente les variétés suivantes :

D. cristallisée. — Ordinairement en rhomboèdres basés ou en scalénoèdres. Les faces basiques sont souvent caverneuses; les faces sont fréquemment arrondies et les cristaux groupés (pl. VII, fig. 10).

D. lamellaire, en lames plus ou moins larges.

D. compacte, toujours plus ou moins mélangée de silicate de manganèse (rhodonite).

C'est un minéral de filon peu abondant. On l'a rencontré à Schebenholz (Harz); à Freiberg, en Saxe; à Kapnik, en Hongrie; à Nagyag, en Transylvanie; à Horhausen (Odenwald).

PLANCHE VII

1. **Dendrites** de fer (jaunes) et de manganèse (noires) dans un calcaire. Le canal d'infiltration se manifeste ici d'un façon évidente. — Solenhofen.

2. **Dendrites** noires de manganèse dans un calcaire. — Solenhofen.

3. **Pyrolusite.** — Bioxyde de manganèse MnO^2. En nodules de fibres radiées divergentes appartenant au système clinorhombique. Dans les cavités d'un porphyre quartzeux. Gris-d'acier, éclat métallique, très fragile. — Ilmenau (Thuringe).

4. **Pyrolusite** massive en tiges fibreuses. — Ilmenau (Thuringe).

5. **Acerdèse.** — Sesquioxyde de manganèse hydraté Mn^2O^3,H^2O. Groupe de cristaux orthorhombiques cannelés, nettement terminés par la base. Vif éclat métallique, gris-d'acier. Avec calcite. — Ihlfeld (Harz).

6. **Acerdèse** en cristaux aciculaires groupés parallèlement. Sur barytine.

7. **Psilomélane.** — Manganite de manganèse et de baryte en masses réniformes à surface noir bleuâtre et veloutée. — Schneeberg (Saxe).

8. **Psilomélane** concrétionnée en masses colonnaires. — Siegen.

9. **Psilomélane** en enduit sur hématite fibreuse et réniforme. — Siegen.

10. **Dialogite.** — Carbonate de manganèse $MnCO^3$ en scalénoèdres aigus rouge-framboise sur hématite ocreuse. — Horhausen (Odenwald).



1. **Dendrites** *de fer (jaunes), et de manganèse (noires).* 2. **Dendrites** *de manganèse dans un calcaire.* 3. **Pyrolusite.** *Bioxyde de manganèse cristallisé.* 4. **Pyrolusite** *massive.* 5. **Acerdèse.** *Sesquioxyde de manganèse hydraté en prismes cannelés.* 6. **Acerdèse** *aciculaire.* 7. **Psilomélane.** *Oxyde de manganèse hydraté barytifère. Masses réniformes.* 8. **Psilomélane** *concrétionnée.* 9. **Psilomélane** *en enduit sur Hématite.* 10. **Dialogite.** *Carbonate de manganèse cristallisé.*

COMPOSÉS DE L'ALUMINIUM

L'aluminium uni à l'oxygène sous forme d'alumine est très répandu à la surface du globe. C'est l'un des éléments essentiels des principales roches fondamentales et des minéraux accessoires que l'on y rencontre accidentellement; il y est subordonné à l'acide silicique, et ses composés rentrent dans le grand groupe des silicates. Toutefois, il joue le principal rôle dans la constitution d'un certain nombre de composés qui constituent pour ainsi dire ses minerais. Si ceux-ci sont relativement peu abondants, ils présentent un grand intérêt, car ils constituent les gemmes les plus belles, du plus haut prix, et qui rivalisent en valeur artistique et vénale avec le diamant.

Les principales combinaisons naturelles de l'aluminium sont : le *corindon* (oxyde) avec les variétés rangées parmi les substances les plus précieuses, et par leur rareté, et par leur éclat, le *rubis*, le *saphir*, l'*émeraude*, l'*améthyste*, la *topaze*, pierres dites *orientales;* le *rubis spinelle* (aluminate de magnésie), l'*hercynite* (aluminate de fer), le *pléonaste* (aluminate de fer et de magnésie), la *gahnite* (aluminate de zinc avec un peu de fer et de magnésie), enfin la *wavellite* (phosphate hydraté d'aluminium).

Corindon. — C'est de l'alumine cristallisée Al^2O^3. Il présente de nombreuses variétés de colorations diverses. Bien que ce caractère ne soit que secondaire au point de vue minéralogique pur, il est de grande importance au point de vue de son emploi dans l'ornementation; aussi a-t-on donné des noms particuliers à chacune de ces variétés. Comme certains d'entre eux ont été appliqués depuis à des minéraux d'espèces différentes, mais de couleurs analogues, on les fait suivre, lorsqu'il s'agit du corindon, de l'épithète d'*oriental*. Voici les différents termes usités en joaillerie :

Corindon rouge, *rubis oriental* (pl. VIII, fig. 4).

C. bleu, *saphir indigo, saphir de Birmanie.*

C. bleu clair violacé, *saphir de Ceylan.*

C. bleu clair, tournant au violet à la lumière artificielle, *saphir améthyste* (pl. VIII, fig. 5).

C. vert clair, passant au verdâtre, *aigue-marine orientale.*

C. vert clair, un peu bleuâtre, *aigue-marine orientale.*

C. vert, *émeraude orientale.*

C. jaune, *topaze orientale.*

C. violet, *améthyste orientale.*

C. incolore, *saphir blanc.*

Toutes ces variétés sont transparentes, mais il en existe d'opaques, de grises, de brunes et de noires.

Éclat vitreux vif, passant à l'adamantin, quelquefois nacré ou bronzé.

Dureté considérable, prise comme 9e terme de l'échelle de Mohs. Le corindon raye la topaze proprement dite et tous les minéraux de dureté inférieure, mais il est rayé lui-même par le diamant.

Densité, de 3,95 à 4,8.

Le corindon cristallise dans le système rhomboédrique. Clivage suivant les faces du rhomboèdre primitif, et en outre parallèlement à la base, qui porte souvent des stries triangulaires. Cassure très variable; s'électrise facilement par le frottement. Les cristaux contiennent souvent de nombreuses inclusions d'acide carbonique et de liquides.

C. cristallisé. — Les cristaux sont des rhomboèdres de 86° 4', mais le plus souvent ce sont des combinaisons de deux isocéloèdres et du prisme hexagonal inverse; ils ont alors une apparence fusiforme, et ne portent les faces du rhomboèdre primitif qu'en modifications. On trouve encore des prismes hexagonaux modifiés sur les arêtes basiques (pl. VIII, fig. 1, 2, 3).

C. laminaire, en masses clivables, parallèlement aux faces du rhomboèdre primitif.

C. granulaire, en grains fins mélangés d'oxyde de fer ou *émeri;* employé pour le polissage.

C'est un minéral accessoire des terrains de cristallisation, disséminé dans les granites, les micaschistes, les talcschistes et les filons de feldspath. On le rencontre encore dans les tufs basaltiques et dans des alluvions provenant de la désagrégation des roches cristallophylliennes.

Provenances principales : Ochsenkopf (Saxe), Naxos (île de l'archipel grec), Jersey, Guernesey, le Saint-Gothard, Chamounix, le mont Dore. Les plus belles variétés de rubis et de saphir proviennent des environs de Mo-Gaot et de Kyot-Pyan, en Birmanie, et des environs de Syrian, ville du Pégu, dans les monts Capellan. A l'île de Ceylan on trouve des rubis roses. Les mines de Bakschau, en Tartarie, sont célèbres. Au mont Iser, en Bohême, près de Bilin et de Méronitz, on rencontre le saphir en cailloux roulés. En France, les basaltes et les laves de Croustet et les alluvions du ruisseau d'Expailly, près du Puy, contiennent des saphirs. On peut dire, en outre, qu'en général toutes les alluvions diamantifères contiennent les différentes variétés de corindon.

Taille. — On taille le rubis et le saphir en brillants, mais particulièrement le second à degrés octogones ou en cabochons. Les pierres de provenance orientale ont souvent cette forme; on les retaille à nouveau. Ces deux gemmes, quand elles sont d'une belle eau, peuvent acquérir une valeur supérieure à celle de diamants de même poids.

Reproduction artificielle. — Le corindon a été reproduit par divers expérimentateurs. Un des premiers est Ebelmen, qui dissolvait de l'alumine dans l'acide borique fondu à la température des fours à porcelaine. L'évaporation lente de l'acide borique provoquait la cristallisation du corindon. D'autres méthodes furent appliquées avec succès, mais celle qui donne les meilleurs résultats a été imaginée par MM. Frémy et Feil.

On chauffe à haute température un mélange de fluorure de baryum et d'un silicate de plomb artificiel dans des creusets de terre réfractaire. On obtient ainsi un culot pénétré de lamelles hexagonales de rubis. La coloration est obtenue par l'addition d'un peu de bichromate de potasse au mélange primitif. Toutefois, les pierres ainsi obtenues sont toujours de petites dimensions (pl. VIII, fig. 6).

Divers chimistes, MM. Gaudin, Sainte-Claire Deville et Hautefeuille, ont obtenu le rubis en fondant de l'alumine amorphe, mais les spécimens ainsi préparés étaient opaques. M. Verneuil en 1904 a publié un procédé permettant d'obtenir, par fusion de l'alumine au chalumeau, un rubis limpide susceptible d'être utilisé en joaillerie.

De nombreuses expériences lui ont permis d'établir : 1° que la fusion doit être opérée dans une région de la flamme à température relativement peu élevée, pour éviter un dégagement de bulles gazeuses ; 2° que la surface du support de l'échantillon devait être réduite le plus possible.

En conséquence, l'alumine pulvérulente est injectée dans le courant gazeux avant sa sortie du bec et introduite ainsi dans l'intérieur même de la flamme. Elle se dépose incandescente à la surface d'un globule d'alumine déjà solidifié et maintenu par un dispositif mécanique dans la même région de la flamme. Le rubis s'accroît ainsi lentement par l'apport continuel de particules fondues.

Les pierres obtenues par ce procédé possèdent la couleur et toutes les propriétés physiques et chimiques du corindon naturel. Elles sont en particulier optiquement *uniaxes,* l'axe principal est parallèle à la direction d'allongement de la flamme pendant leur formation.

Spinelle (Rubis balais, Rubicelle). — Aluminate de magnésie MgO,Al^2O^3. La couleur est très variable : elle peut être rouge foncé (rubis spinelle), rose (r. balais), jaune-d'or (rubicelle), verte, vert-pré, bleue ou brune.

Éclat vitreux vif. Dureté, 8. Densité, 3,5 à 4,1. Cristallise dans le système cubique.

Infusible, perd sa couleur quand on le chauffe, mais la reprend par refroidissement.

Sp. cristallisé, en octaèdres cubiques souvent modifiés sur les arêtes et sur les angles (pl. VIII, fig. 7).

Sp. maclé. — Réunion de deux octaèdres accolés suivant une face, l'un d'eux ayant tourné de 180° autour d'un axe ternaire (macle des spinelles, fig. 115, p. 94).

Ce minéral a donné son nom à tout un groupe d'aluminates analogues ne différant que par la base de protoxyde, possédant la même forme primitive et présentant une macle analogue (hercynite, pléonaste, gahnite, ci-après).

Comme le corindon, le spinelle appartient aux roches cristallines anciennes. On le rencontre dans les dolomies, le quartz micacé, les roches granitoïdes, et il est abondant dans les dépôts d'alluvions provenant de leur désagrégation.

Provenances principales : Amity et Warwick (New-York), environs de Boston (Massachusetts); Ceylan, Pégu et Mysore (Inde); la Somma (Vésuve).

Le spinelle est employé en joaillerie comme pierre d'ornement. D'un rouge vif, il prend le nom de *rubis spinelle* et peut acquérir des prix très élevés ; d'une teinte lie-de-vin, il est moins estimé et prend le nom de *r. balais.*

Les variétés susceptibles d'être taillées viennent de l'Inde.

Hercynite. — Aluminate de fer FeO,Al^2O^3 avec traces de magnésie. C'est un spinelle vert noirâtre. Même forme, même macle que le minéral précédent. Dureté, 7,5 à 8. Densité, de 3,91 à 3,95. On le rencontre en octaèdres parfaitement formés (pl. VIII, fig. 9), ou en masses grenues, en Bohême et à New-Jersey.

Pléonaste. — Aluminoferrite de fer et de magnésie $(Mg,Fe)O,(Al,Fe)^2O^3$ (pl. VIII, fig. 10). C'est un spinelle *noir* dans lequel l'alumine est partiellement remplacée par du sesquioxyde de fer, composé isomorphe ; même forme et même macle que les deux précédents. Dureté, 7,5 à 8. Densité, 3,7 à 3,8. On rencontre le pléonaste à Ceylan ; dans la vallée de Fassa (Tyrol) ; en Bohême ; près de Montpellier (Hérault) ; au Vésuve, etc.

Gahnite. — Aluminate de zinc ferrifère Al^2O^3, $(ZnFe)O$, appartenant aussi au groupe des spinelles (pl. VIII, fig. 11). Bleu ou vert foncé passant au noir. Densité, 8. Dureté, de 4,33 à 4,35. On l'a rencontré à Falun et à Garpenberg (Suède), à Franklin (New-Jersey), à Querbach (Silésie), etc.

Wavellite. — Phosphate hydraté d'alumine $2P^2O^5$, $3Al^2O^3,12H^2O$. Blanc jaunâtre ou verte. Dureté, 3,5 à 4. Densité, 2,3.

Rarement en cristaux orthorhombiques, plus ordinairement en masses globuleuses formées de fibres radiées divergentes (pl. VIII, fig. 12), à texture fibreuse et à éclat soyeux, dans les fentes des granites, des gneiss et des schistes argileux, en Saxe, en Westphalie, dans le Devonshire, en Écosse, en Cornouaille, etc.

SELS ACCESSOIRES DES GITES MÉTALLIFÈRES

Wolfram. — Tungstate de fer et de manganèse $(FeMn)O,TuO^3$. Noir ou noir rougeâtre, à éclat submétallique, à poussière brune ou rougeâtre. Dureté, 5 à 5,5.

Cristallise dans le système clinorhombique. Facilement fusible à la flamme du chalumeau. Cassure lamellaire, clivages suivant les deux pinacoïdes.

W. cristallisé. — En prismes clinorhombiques ou en prismes rectangulaires, combinaison des deux pinacoïdes, diversement modifiés sur les arêtes et sur les angles.

W. lamellaire, en masses composées de feuillets plans ou courbes enchevêtrés (pl. VIII, fig. 13).

On rencontre le wolfram dans les roches de cristallisation et les filons qui en dépendent, avec les minerais de zinc, la fluorine, l'apatite, la topaze, la schéelite, la molybdénite et le grenat.

C'est un satellite ordinaire des gîtes d'étain.

Principales provenances : Puy-les-Vignes, Chanteloube (près Limoges), Zinwald, Altenberg, Ehrenfriedersdorf, Freiberg, Schlaggenwald (Erzgebirge), Harz, etc.

Schéelite. — *Tungstate de chaux,* $CaTuO^4$. Blanche ou accidentellement jaunâtre, à l'éclat vitreux. Dureté, 4,5 à 5, rayant la fluorine, rayée par le verre. Densité, 5,9 à 6.

Cristallise dans le système quadratique avec hémiédrie tournante. Clivage suivant la base assez distinct, fond difficilement au chalumeau.

S. cristallisée. — En octaèdres plus ou moins surbaissés, modifiés sur les angles par les facettes d'un octaèdre non orienté provenant de l'hémiédrie de dioctoèdres (pl. VIII, fig. 14).

Les gisements appartiennent aux mêmes terrains que ceux de wolfram. Les principales provenances sont : Puy-les-Vignes; les dépôts stannifères d'Altenberg, Geyer, et Ehrenfriedersdorf, en Saxe; la Cornouaille, etc. C'est un satellite ordinaire des gîtes d'étain.

Crocoïse. — Chromate de plomb $PbCrO^4$. Substance rouge-orangé. Eclat vitreux et adamantin. Poussière jaune-orangé. Dureté, 2,5 à 3, rayant le gypse, rayée par la calcite. Densité, 5,9 à 6,1. Cristallise dans le système clinorhombique. Chauffée, décrépite et fond. Transparente ou translucide.

Cr. cristallisée. — En prismes clinorhombiques modifiés par une hémiorthopyramide antérieure, ou en cristaux plus compliqués, modifiés sur les arêtes et sur les angles.

Cr. cylindroïde. — Cristaux déformés et empilés (pl. VIII, fig. 15).

On la rencontre en veines dans les roches aurifères avec galène et oxyde de fer à Bérézow (Sibérie), à Congouhas de Campo (Brésil), à Murrinsk dans l'Oural.

Chalcolite. — Phosphate hydraté d'urane et de cuivre $P^2O^5,2UO^3,CuO,8H^2O$.

Vert-émeraude, vert-poireau, vert-d'herbe, vert-pomme. Eclat nacré sur la base. Dureté, 2 à 2,5. Densité, 3 à 3,6.

Cristallise dans le système quadratique; fond facilement.

Ch. cristallisée en prismes ou en octaèdres quadratiques diversement modifiés.

Ch. lamelliforme, groupement de cristaux tabulaires déformés, empilés suivant la base (pl. VIII, fig. 16).

La chalcolite accompagne les minerais d'étain, de cuivre et d'urane dans les gneiss, les micaschistes et le granite, à Johanngeorgenstadt, Eibenstock, Schneeberg, Joachimsthal (Erzgebirge), à Bodenmais (Bavière), à Collington (Cornouaille), dans le Puy-de-Dôme en France, etc.

Boracite. — Chloroborate de magnésie

$$8Bo^2O^3,6MgO,MgCl^2$$

incolore, blanche, grise, jaunâtre, ou brune, à éclat vitreux, à cassure conchoïdale ou inégale. Dureté, 7. Densité, 2,91.

La boracite cristallise en apparence dans le système cubique et présente l'hémiédrie à faces inclinées (h. tétraédrique) et l'hémiédrie à faces parallèles. Clivage imparfait suivant les faces de l'octaèdre.

Elle colore en vert la flamme du chalumeau (bore) et fond difficilement en un émail blanc qui, au refroidissement, se recouvre de petits cristaux. Elle jouit de la pyroélectricité. Biréfringente jusqu'à 295°, elle devient isotrope à cette température.

B. cristallisée (pl. VIII, fig. 17), en cubes portant les facettes hémiédriques du tétraèdre direct qui sont raboteuses, et celles du tétraèdre inverse qui sont polies et entourées des facettes d'un tritétraèdre (hémitrapézoèdre). Cette espèce, étant biréfringente, doit être rapportée au système orthorhombique à la température ordinaire, mais elle devient cubique à 295°.

La boracite se rencontre en cristaux isolés dans les gisements d'anhydrite, de gypse et de sel gemme, au Kalkberg à Schildstein, près de Lunebourg (Hanovre), près de Segeberg, dans le Holstein; à Lunéville.

PLANCHE VIII

1. **Corindon.** — Alumine Al^2O^3 cristallisée dans le système rhomboédrique. Cristal brun jaunâtre constitué d'un empilement de lamelles hexagonales basées, légèrement déformé. — Inde occidentale.

2. **Corindon** rose dans un calcaire saccharoïde. — Campo-Longo, Suisse.

3. **Corindon** commun bleu sombre, en minces lames hexagonales sur quartz compact pénétré de mica.

4. **Rubis** (corindon rouge) taillé.

5. **Saphir** (corindon bleu) taillé.

6. **Rubis artificiel.** — Minces lamelles hexagonales de même densité que le rubis naturel.

7. **Spinelle.** — Aluminate de magnésie Al^2O^3MgO. En octaèdres cubiques parfaits ou légèrement déformés d'un rouge-rubis (rubis spinelle). — Alluvions gemmifères de Ceylan.

8. **Spinelle** bleuâtre avec mica vert-olive. — Dans un calcaire grenu. — Finlande.

9. **Hercynite.** — Spinelle. Aluminate de fer et de magnésie $(Fe,Mg)O,Al^2O^3$. Octaèdres réguliers parfaits, noirs, avec chondrodite brun-orangé (silicate de magnésie fluorifère) et paillettes isolées de graphite dans un calcaire grenu. — New-Jersey.

10. **Pléonaste.** — Spinelle. Aluminate de fer et de magnésie d'un vert très sombre en octaèdres réguliers à vif éclat vitreux, accompagné d'augite vert-bouteille et de biotite brun jaunâtre dans une lave. — Vésuve.

11. **Gahnite.** — Spinelle $(Zn,Mg,Fe)O,Al^2O^3$. Aluminate de zinc, de magnésie et de fer en gros octaèdres réguliers vert sombre. Dans un calcaire grenu gris bleuâtre. — New-Jersey.

12. **Wavellite.** — Phosphate d'alumine hydraté $3Al^2O^3,2P^2O^5,12H^2O$, grisâtre en masses globuleuses, radiofibreuses, à éclat soyeux. Dans un gneiss. — Cornouaille.

13. **Wolfram.** — Tungstate de fer et de magnésie $(Fe,Mn)WoO^4$ en prismes chinorhombiques striés dans leur longueur, noirs, à poussière bleuâtre. Satellite ordinaire des gîtes d'étain. — Altenberg.

14. **Schéelite.** — Tungstate de chaux TuO^3CaO, en octaèdres quadratiques très voisins de l'octaèdre régulier, sur du quartz coloré en brun par de l'oxyde de fer. Comme le précédent, satellite ordinaire des gîtes d'étain. — Zinnwald, Bohême septentrionale.

15. **Crocoïse.** — Chromate de plomb $PbCrO^3$. Petits prismes clinorhombiques rouge-hyacinthe avec cristaux de quartz. Sur un micaschiste chromifère. — Sibérie.

16. **Chalcolite.** — Phosphate hydraté de cuivre et d'urane $P^2O^5,2U^2O^3,3CuO,8H^2O$. Tables quadratiques à huit faces, à clivage facile suivant la base. Vert-émeraude. Eclat nacré sur la base. Sur une roche quartzeuse et grisâtre. — Cornouaille.

17. **Boracite.** — Chloroborate de magnésie de formule très complexe. Cubes modifiés par le rhombododécaèdre et le tétraèdre, bien que ce minéral soit orthorhombique d'après ses propriétés optiques. Dans un gypse compact cristallin rosé. — Lunebourg.



1. **Corindon.** *Alumine cristallisee. Prisme hexagonal déformé. 2.* **Corindon.** *Cristal rose dans un calcaire. 3.* **Corindon** *bleu sur quartz. 4.* **Rubis (Corindon rouge)** *taillé. 5.* **Saphir (Corindon bleu)** *taillé. 6.* **Rubis** *artificiel. 7.* **Spinelle.** *Aluminate de magnésie cristallisé rose. 8.* **Spinelle** *bleuâtre cristallisé. 9.* **Hercynite.** *Aluminate de magnésie ferrifère. Octaèdres réguliers. 10.* **Pléonaste.** *Aluminate de fer et de magnésie. Octaèdres réguliers. 11.* **Gahnite.** *Ferroaluminate de fer, de zinc et de magnésie. Octaèdres réguliers. 12.* **Wavellite.** *Phosphate d'alumine hydraté en masses radiofibreuses. 13.* **Wolfram.** *Tungstate de fer et de manganèse cristallisé. 14.* **Scheelite.** *Tungstate de chaux cristallisé. 15.* **Crocoïse.** *Chromate de plomb cristallisé. 16.* **Chalcolite.** *Phosphate hydraté d'urane et de cuivre cristallisé vert. 17.* **Boracite.** *Chloroborate de magnésie. Cube modifié.*

COMPOSÉS DU CALCIUM

Ce métal est très répandu dans la nature, soit à l'état de sels proprement dits, soit à l'état de silicates divers dans les roches. Ses composés les plus intéressants par leur abondance, leurs formes cristallines et leurs applications sont : la *calcite* (carbonate rhomboédrique), l'*aragonite* (carbonate orthorhombique), l'*anhydride* (sulfate anhydre), le *gypse* (sulfate hydraté), la *fluorine* (fluorure), l'*apatite* (chlorophosphate).

Calcite. — Carbonate de chaux $CaCO^3$.

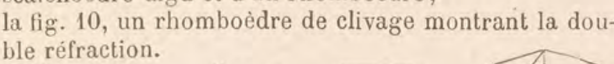
Ce minéral est naturellement incolore, mais, grâce aux matières auxquelles il est mélangé, il peut acquérir diverses colorations accidentelles. Il peut être rose, rouge, gris, brun, noir, verdâtre ou bleuâtre. Sa dureté a été prise comme terme de comparaison dans l'échelle de Mohs, et elle est caractérisée par le nombre 3. — Densité variant de 2,70 à 2,73.

La calcite cristallise dans le système rhomboédrique et présente de nombreuses modifications.

Chauffée, elle dégage de l'anhydride carbonique et donne de la chaux vive sans trace de fusion.

Elle fait effervescence avec les acides en dégageant de l'anhydride carbonique, tout en donnant le sel correspondant à l'acide.

La calcite jouit d'une double réfraction énergique (pl. IX, fig. 10), d'où son emploi dans les instruments d'optique pour la confection des *nicols* employés à l'étude des phénomènes de polarisation.



La netteté de ses caractères cristallographiques et physiques, la variété de ses formes cristallines et son abondance dans la nature ont eu la plus grande influence sur le développement de la minéralogie et de l'optique. On se rappelle qu'Haüy a été amené par la facilité de son clivage à la conception de la *molécule intégrante*, base de sa théorie des décroissements moléculaires, et à la notion des systèmes cristallins. Ce clivage conduit à un rhomboèdre de 105° 5' qui, bien qu'il soit d'une rareté extrême dans les formes naturelles, a été pris néanmoins comme forme fondamentale (fig. 116).

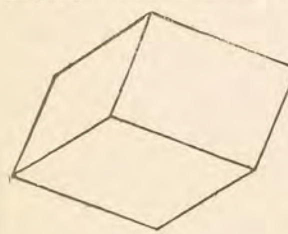


Fig. 116.

L'éclat de la calcite est variable. Ordinairement vitreux dans les variétés cristallisées, il peut être nacré sur la base normale à l'axe principal, et fibrosoyeux dans les variétés fibreuses.

C. cristallisée. — On compte plus de 170 formes différentes observées. Haüy a donné des noms particuliers à un grand nombre de combinaisons de ces formes entre elles, dont on a depuis compté plus de 1,400. Les formes isolées sont des rhomboèdres aigus presque tous dérivés de troncatures sur les angles latéraux et le rhomboèdre dit « inverse », formé par troncature symétrique sur les arêtes culminantes, des scalénoèdres aigus ou obtus (fig. 117 et pl. IX, fig. 5), enfin le prisme hexagonal basé ou modifié par divers rhomboèdres ou scalénoèdres. Les figures $118_{1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5}$, représentent les combinaisons les plus ordinaires et les plus simples de ces formes. Les figures de la planche IX représentent des cristaux tels qu'on les rencontre dans la nature : la fig. 1, groupe de rhomboèdres primitifs (très rare); la fig. 2, un fragment montrant les clivages; la fig. 3 et la fig. 4, des groupes de prismes hexagonaux basés; la fig. 5, des scalénoèdres aigus; la fig. 6, des cristaux présentant la combinaison du prisme hexagonal, d'un scalénoèdre aigu et d'un rhomboèdre; la fig. 10, un rhomboèdre de clivage montrant la double réfraction.

Fig. 117.

C. maclée. — Il y a plusieurs lois de macle de deux cristaux. La principale et la plus fréquente est celle de deux scalénoèdres ayant même axe vertical et dont l'un semble avoir tourné par rapport à l'autre de 60° ou de 180°. Cette macle se présente encore fréquemment sur la combinaison du prisme hexagonal terminé par le rhomboèdre équiaxe d'Haüy. La première présente des angles rentrants visibles sur la figure 8, pl. IX.

C. spiculaire. — Masses composées de cristaux accolés divergents autour de centres et dont la surface est comme hérissée de pointes de scalénoèdres à faces souvent creusées (pl. IX, fig. 9).

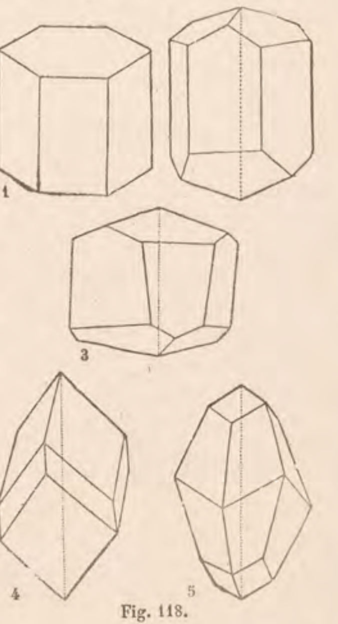


Fig. 118.

C. lenticulaire. — Rhomboèdres ou scalénoèdres très surbaissés, à faces convexes, souvent groupés parallèlement à la base.

C. stalactitique. — Stalactites ou stalagmites provenant de l'évaporation d'eaux chargées de bicarbonate de chaux suintant à travers des fissures de roches. Elles forment de véritables monuments dans les grottes de certains terrains, par exemple aux grottes du Han (Belgique), au gouffre de Padirac, etc. Leur structure est nettement cristalline et présente le clivage caractéristique.

C. saccharoïde. — D'origine métamorphique; constitue les divers marbres.

C. laminaire. — Masses compactes à cassure laminaire.

C. fibreuse. — Masses composées de fibres parallèles à éclat nacré ou soyeux.

C. pseudomorphique. — En rhomboèdres aigus, dans laquelle la calcite a été presque totalement remplacée par du grès. Cette variété a reçu le nom impropre de *grès cristallisé* de Fontainebleau (pl. IX, fig. 11).

La calcite, par suite de son isomorphisme avec les carbonates de fer, de manganèse et de magnésie, renferme souvent ces trois substances à l'état de mélanges isomorphes, et certains d'entre eux, présentant une composition sensiblement constante, ont été élevés au rang d'espèces particulières, telles que la dolomie. Certaines variétés sont toutefois très pures, par exemple le spath d'Islande.

Les plus beaux échantillons cristallisés proviennent d'Andreasberg, au Harz, de nombreuses localités du Tyrol, de Styrie, de Carinthie, de Hongrie, de Saxe, de Hesse, de Norvège, de France, d'Angleterre (Derbyshire, Cumberland, Cornouaille, Ecosse), d'Islande, où l'on a rencontré un rhomboèdre isolé de dimensions colossales : plus de cinq mètres de long sur trois de hauteur. Citons encore, aux Etats-Unis, Gouverneur, Oxbow (Jefferson County), Thomaston, Middleton (Maine), Bergen, Franklin (New-Jersey), Tieland Spar (Pennsylvanie), les mines de cuivre du lac Supérieur, etc.

Quant aux calcaires cristallins, on les rencontre un peu partout, et de nombreux gisements sont encore inexploités. Les variétés les plus réputées employées à la sculpture et à l'architecture dans l'antiquité sont : le *Pentélique* (environs d'Athènes), le *Paros* (île de l'Archipel), à tons d'ivoire, qui a fourni la matière de la *Vénus de Médicis* et de la *Diane chasseresse,* le *marbre de Lima* (l'*Antinoüs*, l'*Apollon* du Belvédère), le *Cipolin* parsemé de veines verdâtres dues à la chlorite en inclusions, le *Portos antique,* d'un beau noir (Lima, près de Carrare). En France on exploite des carrières de marbre dans environ cinquante départements; c'est un des pays les plus riches sous ce rapport.

PLANCHE IX

1. **Calcite.** — Carbonate de chaux rhomboédrique $CaCO^3$. Cristaux présentant le rhomboèdre fondamental qui constitue aussi le solide de clivage. La gangue est une argile grise. — Bologne.

2. **Calcite.** — Fragment détaché montrant les clivages rhomboédriques. — Auerbach.

3. **Calcite.** — En tables hexagonales aplaties suivant la base. La gangue non visible sur la figure est constituée d'un mélange de calcite et de pyrite. — Andreasberg.

4. **Calcite** de même forme, mais en lames très minces. — Schneeberg (Erzgebirge).

5. **Calcite.** — En scalénoèdres très aigus. La gangue est un mélange cristallin de calcite et de galène. — Andreasberg.

6. **Calcite** remarquable par sa transparence; les cristaux portent les faces du prisme hexagonal, d'un scalénoèdre aigu et d'un rhomboèdre obtus. Ils sont implantés sur de la limonite ocreuse. — Derbyshire (Angleterre).

7. **Calcite.** — En scalénoèdres provenant d'un calcaire coquillier. — Cannstatt.

8. **Calcite.** — Macle par hémitropie normale à l'axe principal. La partie inférieure du cristal paraissant avoir tourné de 30° par rapport à la partie supérieure. L'échantillon, souillé d'argile, provient d'un calcaire coquillier. — Gross-Sachsenheim (Wurtemberg).

9. **Calcite.** — Cristaux groupés colorés en brun jaunâtre par de la limonite. Les pointes qui hérissent l'échantillon sont formées par l'extrémité de scalénoèdres très aigus. Il provient d'un calcaire coquillier. — Solenhofen.

10. **Calcite.** — Rhomboèdre de clivage d'une limpidité remarquable, montrant la double réfraction. — Islande.

11. Pseudomorphose de rhomboèdres de **Calcite** en grès, connue sous le nom de « grès cristallisé ». La calcite n'y existe plus qu'à l'état de ciment. — Fontainebleau.



1. **Calcite.** *Carbonate de chaux rhomboédrique. Rhomboèdres groupés. 2.* **Calcite** *cristallisée montrant les clivages. 3 et 4.* **Calcite** *en lames hexagonales. 5.* **Calcite.** *Scalénoèdres aigus. 6.* **Calcite.** *Rhomboèdres modifiés. 7.* **Calcite.** *Scalénoèdre. 8.* **Calcite.** *Cristal hémitrope. 9.* **Calcite.** *Rhomboèdres groupés colorés par de l'oxyde de fer. 10.* **Calcite.** *Rhomboèdre de clivage montrant la double refraction. 11. Pseudomorphose de* **Calcite** *en grès, dite* grès cristallisé.

COMPOSÉS DU CALCIUM (Suite).

Aragonite. — Carbonate de chaux orthorombique $CaCO^3$. C'est la seconde forme de cette substance dimorphe. Incolore de nature, elle présente souvent, comme la calcite, des colorations accidentelles dues à des impuretés. Elle peut par suite être incolore, blanche, jaune, rose, brune ou verte.

Dureté, 3,5 à 4. Densité, de 2,93 à 2,94.

Elle cristallise dans le système orthorhombique et présente un clivage assez facile suivant le brachypinacoïde.

Chauffée en tube fermé, elle se gonfle et se délite. A la flamme directe elle *s'éparpille* en fragments; si la chauffe est modérée et inférieure à celle qui amènerait sa décomposition, elle décrépite et se transforme en *calcite*.

Contrairement à ce qui se passe pour la calcite, l'aragonite se rencontre rarement en grandes masses. Toutefois, des dépôts importants de la variété oolitique se présentent à la base des grès bigarrés de l'Allemagne du Nord.

A. cristallisée. — Ordinairement en prismes orthorhombiques de 116° 15' à six ou à huit pans, terminés par un brachydôme ou par la base.

A. maclée. — Cette espèce a de grandes tendances à la macle. Le principal groupement est celui de trois cristaux accolés par les faces du prisme; celui-ci étant un peu inférieur à 120°, l'ensemble laisse un vide qui se remplit de matières diverses. Les prismes pseudo-hexagonaux de cette origine peuvent présenter des angles rentrants et des cannelures (pl. X, fig. 1 et 2). Sur la figure 1, les stries observées sur la base sont les conséquences d'un tel groupement.

A. coralloïde. — Agrégats bacillaires ou fibreux rappelant l'architecture du corail. Cette variété a reçu le nom de *flos ferri* et se rencontre à la partie supérieure des gîtes de fer (pl. X, fig. 8).

A. fibrocompacte. — En masses à cassure vitreuse et à éclat quelquefois gras, composées de fibres droites ou entrelacées.

A. pisolitique. — En masses sphéroïdales concrétionnées de colorations diverses disposées en couches concentriques et réunies par un ciment. Les figures 3 et 4 de la planche X représentent des plaques polies de ces dépôts des sources thermales.

A. oolitique. — Grains arrondis de la même nature que la variété précédente, mais plus petits et en agrégats analogues à ceux des œufs de poisson (pl. X, fig. 5 et 9).

A. concrétionnée. — En masses fibreuses compactes et rubanées, formées de la superposition de couches parallèles produites par des dépôts successifs. La diversité des colorations est due à la présence de matières étrangères (pl. X, fig. 6).

On rencontre l'aragonite dans divers dépôts métalliques, soit en cristaux, soit sous la forme coralloïde, à Framont, à Sainte-Marie-aux-Mines (Vosges), à Vizille (Isère), à Baigorry (Pyrénées), à Salzbourg (Saxe), à Joachimstahl (Bohême), au mont Rose, à Baldissero (Piémont), à Bastennes, près Dax (Landes). On la trouve encore en nids dans les basaltes en Vivarais, en Auvergne, en Bohême, etc. Les sources thermales de Carlsbad ont donné naissance à des variétés pisolitiques et concrétionnées.

Anhydrite. — Sulfate de chaux anhydre $CaSO^4$. Minéral blanc grisâtre, rougeâtre, bleuâtre ou violacé.

Dureté, 3 à 3,5, rayant la calcite, rayée par la fluorine.

Cristallise en prismes orthorhombiques et présente trois clivages rectangulaires parallèles à la base et aux deux pinacoïdes, qui permettent de la diviser facilement en parallélipipèdes rectangles.

Ne donne pas d'eau à la calcination et fond difficilement au chalumeau en un émail blanc.

A. cristallisée. — En prismes orthorhombiques ou en parallélipipèdes rectangles souvent modifiés sur les angles (pl. X, fig. 10).

A. botryoïde. — Variété dite *pierre de tripes,* à structure fibreuse et en masses contournées.

A. laminaire. — Masses clivables en prismes rectangulaires.

A. compacte ou saccharoïde. — Employée quelquefois dans l'ornementation.

On rencontre quelquefois l'anhydrite en grandes masses au contact des roches de cristallisation et des terrains de sédiment dans divers glaciers de Savoie (Gebrulaz, Peray, Moutiers) et au Harz; on la retrouve aussi à la base de ces derniers terrains, généralement à proximité des dépôts salifères, à Bex, en Suisse; Sulz, en Wurtemberg; Ihlfeld, au Harz. Elle est généralement associée au sel gemme et au gypse, qui en dérive par fixation de deux molécules d'eau. De beaux échantillons cristallisés proviennent de Bleiberg (Carinthie); de Lauterbourg, dans le Harz; de Kapnik, en Hongrie; d'Ischl, en Autriche, etc.

L'anhydrite est quelquefois employée aux usages du marbre pour la décoration intérieure. En Italie, sous le nom de *bardiglio* ou *marbre de Bergame,* on exploite une variété gris bleuâtre provenant de Vulpino, près de Milan, pour la confection de tables, plaques de cheminées, etc.

Gypse. — Sulfate de chaux hydraté $CaSO^4 + 2H^2O$.

Incolore ou blanc de nature, il peut présenter diverses colorations accidentelles, jaunes, brunes, rougeâtres ou grises.

Dureté faible, prise comme type dans l'échelle de Mohs, où elle est caractérisée par le nombre 2. Le gypse est rayé par l'ongle. Densité, de 2,31 à 2,33.

Cristallise en prismes clinorhombiques de 111° 30'. Clivage parfait, parallèle au clinopinacoïde. Les faces de clivage sont miroitantes et présentent souvent le phénomène des anneaux colorés. On peut très facilement obtenir des lames d'une minceur extrême, employées en optique comme accessoires du microscope polarisant.

Chauffé, le gypse décrépite, puis blanchit en s'exfoliant, et enfin peut fondre, mais difficilement, en un émail blanc.

Il ne diffère de l'espèce précédente que par la présence des éléments de l'eau dans sa constitution.

Les variétés qu'il présente sont nombreuses.

G. cristallisé. — Les cristaux isolés sont en général peu compliqués et très nets. Le clinopinacoïde est généralement assez développé pour leur donner une apparence tabulaire. La forme la plus ordinaire porte les faces du prisme modifiées par le clinopinacoïde et terminées par une hémipyramide inclinée ressemblant à un clinodôme (fig. 119), mais l'intersection des deux faces est inclinée sur la base au lieu de lui être parallèle comme elle le serait dans le cas d'un clinodôme. D'autres cristaux présentent un brachyprisme et portent la base en modification.

Fig. 119.

G. maclé. — Cette espèce a une grande tendance à la macle. Un premier groupement dit *en queue d'hirondelle* provient de la réunion de deux demi-cristaux accolés suivant une face de l'orthopinacoïde et dont l'un a tourné de 180° autour d'une normale à ce plan (fig. 120). Quelquefois les deux cristaux ont gardé leur individualité et présentent une partie commune, formant ainsi une espèce de croix de Saint-André. Un autre groupement fréquemment réalisé est celui qui donne la variété dite *fer de lance* (pl. X, fig. 14). Pour s'en rendre compte, il faut supposer un cristal aplati suivant le clinopinacoïde et portant de nombreux hémiorthodômes de plus en plus surbaissés, ce qui lui donne une apparence courbe. Dans le cristal ainsi formé on supposera un plan normal à l'aplatissement, passant par le centre, et parallèle aux faces d'un certain hémiorthodôme. Cela étant, en faisant tourner l'une des portions du cristal de 180° autour d'une normale au plan sécant, on aura l'apparence de la fig. 75, p. 26. Cette macle est très abondante aux environs de Paris et à Montmartre, qui a fourni de superbes échantillons aux collections.



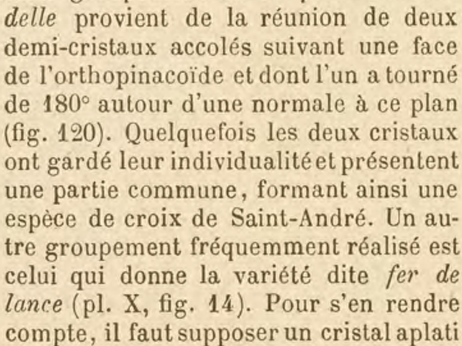


Fig. 120.

G. aciculaire. — Petits cristaux peu nets groupés entre eux; se rencontre dans les terrains volcaniques.

G. lenticulaire. — En forme de lentilles soit simples, soit groupées deux à deux; leur clivage montre nettement la macle en fer de lance.

G. stalactiforme. — En stalactites et en stalagmites. On rencontre dans les catacombes de Paris de nombreuses concrétions fistulaires provenant de l'évaporation de gouttes d'eau chargées de gypse, qu'elles abandonnent à l'évaporation.

G. laminaire. — En masses cristallines susceptibles de se diviser par le clivage en feuillets.

G. fibreux. — Paquets de fibres parallèles très fines à éclat nacré (pl. X, fig. 16).

G. réniforme. — Petites écailles blanches agrégées en pelotes légères (Montmartre).

G. saccharoïde. — En masses compactes à cassure finement grenue. Cette variété constitue l'*albâtre* gypseux, blanc ou légèrement teinté; la figure 18, pl. X, représente une plaque polie.

G. compact et calcifère. — Constitue la pierre à plâtre des environs de Paris.

On rencontre le gypse à peu près dans tous les terrains. Dans les terrains primitifs il provient vraisemblablement de l'action des vapeurs sulfureuses sur les couches de calcaire; dans les terrains de sédiment, il a une origine neptunienne.

Les échantillons bien cristallisés proviennent de Bex, en Suisse; de Hall, dans le Tyrol; de Shotover Hill, près d'Oxford; de Montmartre (Paris); d'Aix, en Provence; d'Oceana (Espagne), des environs du Simplon et du Saint-Gothard, du Dauphiné, du val d'Aoste (Alpes), etc. On rencontre des variétés fibreuses dans le Derbyshire (Angleterre). L'albâtre est exploité à Voltera et à Castelino (Italie), d'où il est transporté à Florence pour y être travaillé.

Les variétés laminaires servent à recouvrir de petites images, d'où les noms de *pierre à Jésus, miroir de Marie, miroir d'âne.*

L'albâtre est la matière première de petits objets d'ornementation, tels que socles de pendules, coffrets, etc.

Les variétés fibreuses à éclat nacré sont quelquefois taillées en cabochon comme pierres d'ornement. Le gypse calcarifère est abondamment exploité dans un grand nombre de localités pour la fabrication du plâtre.

L'importance industrielle de cette substance est telle que son application à l'art du constructeur mérite de fixer quelques instants notre attention.

Le gypse, soumis à une calcination *ménagée,* peut perdre son eau de constitution, soit en totalité, soit en partie, et la reprendre ultérieurement en se transformant en une masse solide comparable pour sa cohésion à la pierre de taille tendre. Mais cette propriété dépend de la température à laquelle il a été calciné.

Le sulfate de chaux anhydre existe sous plusieurs modifications qui ne sont sans doute que des états de polymérisation différents (V. p. 55). L'une d'entre elles, produite vraisemblablement à très haute température, constitue l'*anhydrite,* espèce minérale précédemment étudiée. Il existe en outre deux hydrates; l'un $CaSO^4 + \frac{1}{2}H^2O$ est relativement instable et ne se trouve point dans la nature; l'autre $CaSO^4 + 2H^2O$ constitue le *gypse.* Celui-ci peut perdre la totalité de son eau à une température inférieure à 140°. Le produit ainsi obtenu possède la composition chimique de l'anhydrite, mais, tandis que cette dernière n'est susceptible de se réhydrater que très lentement, lui au contraire est très avide d'eau, la fixe rapidement et *fait prise* avec elle. Le mécanisme du durcissement du plâtre est le suivant : *gâché* avec une quantité d'eau convenable, il donne d'abord

l'hydrate intermédiaire instable $CaSO^4 + \frac{1}{2}H^2O$, qui se dissout dans un excès de liquide grâce à sa solubilité environ cinq fois plus grande que celle du gypse. L'hydrate en solution fixe à son tour une nouvelle quantité d'eau pour donner du gypse, qui, moins soluble, cristallise et se dépose en aiguilles feutrées dont l'entrelacement produit la prise en masse.

Il suffirait donc, pour obtenir du plâtre, d'arrêter la déshydratation au terme $SO^4Ca + \frac{1}{2}H^2O$. Une calcination effectuée à trop haute température transformerait le sulfate anhydre en une modification plus ou moins analogue à l'anhydrite et incapable de faire prise avec l'eau.

Dans la pratique il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, de régler convenablement la température d'obtention. La déshydratation s'effectue industriellement dans des fours dits *fours à plâtre,* chauffés par du charbon brûlant à la partie inférieure. Au contact du combustible, la température est trop élevée; à la partie supérieure, elle est trop basse et la déshydratation y est toujours incomplète. Pour parer à cet inconvénient, on pulvérise et on mélange intimement les diverses parties de la fournée, et on obtient ainsi une poudre de composition moyenne suffisante pour l'usage auquel elle est destinée.

Le plâtre à modeler est en majeure partie constitué de l'hydrate $CaSO^4 + \frac{1}{2}H^2O$.

PLANCHE X

1. **Aragonite.** — Carbonate de chaux orthorhombique. En cristaux formés de la réunion de plusieurs individus parallèles se pénétrant de manière à former une sorte de pignon d'engrenage, portant des cannelures longitudinales.

Ces groupements sont rendus manifestes par les stries que l'on aperçoit sur la face basique terminale. L'aragonite accompagne fréquemment le soufre dans ses gîtes. — Girgenti (Sicile).

2. **Aragonite** maclée. — Prisme pseudohexagonal résultant de la pénétration de plusieurs cristaux. — Bastennes (département des Landes).

3 et 4. **Aragonite** concrétionnée pisolitique. — Plaques polies artificiellement, montrant la structure fibreuse et les colorations diverses des zones concentriques. — Sources thermales de Carlsbad.

5. **Aragonite** concrétionnée oolitique. — Agrégats de petites sphères de dimensions uniformes, adhérant les unes aux autres par un ciment peu consistant. — Carlsbad.

6 et 7. **Aragonite** concrétionnée. — Masses rubanées à structure fibreuse, formées de couches de colorations diverses. — Sources thermales de Carlsbad.

8. **Aragonite** coralloïde (*flos ferri*). — En arborescence stalactiforme sur un minerai de fer. — Steiermarck.

9. **Aragonite oolitique.** — Très impure, renfermant surtout de la calcite, de l'oxyde de fer, de l'argile et du grès. — Grès bigarrés de l'Allemagne du Nord.

10. **Anhydrite.** — Sulfate de chaux anhydre $CaSO^4$. Prismes orthorhombiques qu'on pourrait à la vue seule croire cubiques. Mais les trois clivages rectangulaires sont très différents. — Hallein, Salzbourg.

11. **Anhydrite** massive cristalline. — Blanc bleuâtre et translucide, telle qu'on la rencontre dans le trias du Salzgebirge. — Sulz, sur le Neckar (Wurtemberg).

12. **Gypse.** — Sulfate de chaux hydraté $CaSO^4,2H^2O$. Le cristal porte les faces du prisme clinorhombique (biseau antérieur), d'une hémipyramide (et non d'un clinodôme), biseau supérieur, et du clinopinacoïde. Très aplati suivant cette dernière face, il forme comme une table biseautée. — Hall (Tyrol).

13. **Gypse.** — Cristal légèrement déformé. Clivage parallèle au clinopinacoïde et strié suivant une hémipyramide.

14. **Gypse** en *fer de lance*. — Association de deux individus suivant une face d'hémiorthopyramide. — Paris.

15. **Gypse** en cristaux maclés suivant l'orthopinacoïde (queue d'hirondelle). — Berchtesgaden.

16. **Gypse** fibreux à éclat fibrosoyeux. — Environs de Stuttgard.

17. **Gypse** pénétré de grès brunâtre englobé pendant la cristallisation. — Sahara.

18. **Albâtre gypseux.** — Masses cristallines blanchâtres translucides et présentant des nébulosités. — Toscane.



1. **Aragonite.** *Carbonate de chaux orthorhombique. Prismes pseudohexagonaux maclés.* *2.* **Aragonite.** *Cristal maclé.* *3 et 4.* **Aragonite** *concrétionnée pisolitique.* *5.* **Aragonite** *oolitique.* *6 et 7.* **Aragonite** *concrétionnée rubanée.* *8.* **Aragonite** *coralloïde.* *9.* **Aragonite** *oolitique.* *10.* **Anhydrite.** *Sulfate de chaux anhydre. Prismes orthorhombiques groupés.* *11.* **Anhydrite** *massive.* *12.* **Gypse.** *Sulfate de chaux hydraté, Cristal isolé.* *13.* **Gypse.** *Lame striée.* *14.* **Gypse** *dit* Fer de lance. *15.* **Gypse.** *Cristaux maclés en* queue d'hirondelle. *16.* **Gypse** *fibreux.* *17.* **Gypse** *impur. Macle de deux cristaux.* *18.* **Albâtre. (Gypse Saccharoïde)** *poli.*

COMPOSÉS DU CALCIUM (Suite).

Fluorine. — Fluorure de calcium $CaFl^2$.

Substance incolore de nature, accidentellement rose, rouge, bleue, violette, brune, jaune-de-miel ou verte. Les colorations sont généralement très vives, et les matières auxquelles elles sont dues sont peu connues. Eclat vitreux vif. Poussière blanche.

Sa dureté, prise pour quatrième terme de l'échelle de Mohs, est caractérisée par le nombre 4. Rayant la calcite, elle est rayée par une pointe d'acier. Densité, 3,14 à 3,18.

Elle cristallise dans le système cubique. Clivage facile suivant les faces de l'octaèdre (pl. XI, fig. 2).

Transparente ou translucide, à cassure conchoïdale plane ou esquilleuse.

La fluorine chauffée présente une fluorescence verte très marquée dans la variété *chlorophane*. Certains échantillons, quand on les brise, dégagent une odeur analogue à celle du chlore (fluor gazeux?).

Elle fond au chalumeau en un verre opaque.

Fl. cristallisée. — En cubes, en octaèdres ou en dodécaèdres rhomboïdaux, quelquefois modifiés sur les arêtes ou sur les angles. Les faces de certains cubes sont surmontées d'une pyramide à quatre faces très surbaissées et à peine perceptibles (pl. XI, fig. 1, 3, 5, 6).

Fl. maclée. — Souvent deux cubes se pénètrent ayant en commun une grande diagonale (pl. XI, fig. 4).

Fl. émoussée. — A faces et à arêtes arrondies.

Fl. stratoïde. — En masses compactes formées de diverses couches de cristaux oblitérés se pénétrant les uns les autres. Ces sortes de stratifications, généralement incolores, vertes et violettes, donnent au minéral un aspect rubané.

Fl. lamellaire. — Masses à cassure lamellaire.

La fluorine est un minéral de filon; elle accompagne généralement les minerais de plomb et d'étain. On la trouve aussi elle-même en filons dans les roches anciennes, associée au quartz et à la barytine. Elle est rare dans les roches sédimentaires (environs de Paris) et se rencontre quelquefois dans les laves des volcans modernes.

Ses provenances principales sont : le Derbyshire, le Cumberland (Angleterre), la Saxe, la Bohême, la Norvège, la Suède, Chamounix, le Saint-Gothard, Baveno, l'Ecosse, le Vésuve, Pontgibaud, etc.

On l'emploie en métallurgie comme fondant.

Les variétés zonées servent à la confection de divers objets d'ornement et de fantaisie qui peuvent atteindre des prix élevés. Les fluorines du Derbyshire sont manufacturées en Angleterre. C'est, croit-on, la matière première des *vases murrhins,* si appréciés des anciens Romains.

Les variétés limpides sont quelquefois taillées en bijouterie comme pierres d'ornement.

Apatite. — Chlorofluophosphate de calcium

$$3(P^2O^5,3CaO),Ca(Cl,Fl)^2.$$

Incolore, blanche, vert-d'asperge, vert-de-mer, vert bleuâtre, violacée. Elle est accidentellement jaune, grise ou rouge.

Éclat vitreux inclinant à l'adamantin, mais quelquefois mat par suite d'une altération superficielle (pl. XI, fig. 7). Poussière blanche.

Sa dureté a été prise pour cinquième terme de l'échelle de Mohs; elle est caractérisée par le nombre 5. Rayant la fluorine, elle est rayée par l'orthose.

Cristallise dans le système hexagonal.

Les esquilles minces fondent difficilement sur les bords. Sa poussière devient phosphorescente quand on la chauffe.

A. cristallisée. — En prismes hexagonaux presque toujours modifiés sur les arêtes basiques et sur les angles, quelquefois terminés par des pyramides (pl. XI, fig. 7, 8, 9, 10, 11).

A. lamellaire. — En masses à cassure lamellaire.

A. concrétionnée. — En masses mamelonnées stalactitiques ou réniformes.

A. lithoïde ou terreuse. — En nodules et en rognons.

L'apatite est isomorphe de la pyromorphite et de la mimétèse; elle contient généralement plus de fluor que de chlore et accompagne fréquemment les minerais d'étain.

On rencontre l'apatite cristallisée dans les roches anciennes, telles que les granites, les gneiss, les chloritoschistes et les talcschistes, quelquefois en masses volumineuses avec les feldspaths et l'amphibole. On la rencontre aussi dans les trachytes, les basaltes et les laves. Les principales provenances sont : Nantes, Chanteloube près de Limoges; Greifenstein, en Saxe; Greiner et Faldig, dans le Tyrol; le Saint-Gothard, la Cornouaille, Montferrier (Hérault), le Vésuve, Schlaggenwald (Bohême), etc.

La variété concrétionnée se rencontre dans différents terrains et sert à la fabrication des superphosphates employés comme engrais en agriculture. On trouve des gisements importants dans le Quercy, dans le Nassau, en Estramadure (Espagne), etc.

Les cristaux limpides sont quelquefois taillés en pierre d'ornement, mais ils sont peu brillants et n'ont que peu de valeur.

PLANCHE XI

1. **Fluorine.** — Fluorure de calcium CaFl, en cubes bleu violacé recouverts d'un enduit de petits cristaux de quartz hyalin. La gangue brune est constituée d'un mélange de quartz et de sidérose brune. — Cumberland (Angleterre).

2. **Fluorine.** — Octaèdre de clivage, verdâtre et limpide, laissant subsister une face du cube. — Wildschapbach (Forêt Noire).

3. **Fluorine** en cubes sur barytine. — Environs de Kinzig.

4. **Fluorine** en cubes maclés, par réflexion d'un beau bleu, par transmission verte. — Derbyshire.

5. **Fluorine** en cubes groupés; certaines faces sont ternies par un enduit léger de substance argileuse. — Munsterthal (Forêt Noire).

6. **Fluorine** en cubes colorés à la surface par de l'oxyde de fer, mais incolore à l'intérieur. — Munsterthal (Forêt Noire).

7. **Apatite.** — Chlorophosphate de chaux

$$3(P^2O^5,3CaO),(Fl,Cl)^2Ca$$

en prismes hexagonaux terminés par une pyramide et la base. Légèrement altérée à la surface, elle est recouverte d'un enduit blanc grisâtre. La gangue est une roche granitique. — Environs de Snarum (Norvège).

8. **Apatite** verte. — Prisme hexagonal déformé avec lamelles de biotite (mica) adhérente. — Nesleraag (Norvège).

9. **Apatite** vert bleuâtre en tables hexagonales épaisses sur une gangue micacée brune colorée par de l'oxyde de fer. — Schlaggenwald (Bohême).

10. **Apatite** violette. — En prismes hexagonaux striés transversalement suivant le clivage basique difficile. Sur une roche rugueuse d'un gîte d'étain. — Schlaggenwald (Bohême).

11. **Apatite** verte en prismes brisés paraissant avoir subi une fusion partielle. Avec orthose rosé et biotite (mica brun) dans une pegmatite. — Canada.



1. **Fluorine.** *Fluorure de calcium. Cubes recouverts de petits cristaux de Quartz.* *2.* **Fluorine.** *Solide de clivage.* *3.* **Fluorine.** *Cubes.* *4.* **Fluorine.** *Cubes maclés.* *5.* **Fluorine.** *Cubes groupés.* *6.* **Fluorine** *cubique rouge.* *7.* **Apatite.** *Chlorophosphate de chaux cristallisé blanc.* *8.* **Apatite** *verte. Prisme hexagonal déformé.* *9.* **Apatite** *verte. Prismes hexagonaux groupés.* *10.* **Apatite** *violette. Prismes striés.* *11.* **Apatite** *verte. Prismes brisés.*

COMPOSÉS DU MAGNÉSIUM, DU BARYUM, DU STRONTIUM ET DU GLUCINIUM

Dolomie. — L'isomorphisme du carbonate de chaux (calcite) et du carbonate de magnésie (giobertite) leur permet de cristalliser ensemble en proportions quelconques. Toutefois, certains de ces mélanges paraissent doués d'une stabilité spéciale et répondent à des compositions bien déterminées. On les désigne sous le nom général de dolomies. Les principaux sont $CaO,CO^2 + MgO,CO^2$ et $3CaO,2MgO,CO^2$. Le premier est toujours cristallisé, le second est toujours en masses cristallines ou compactes.

La dolomie peut être blanche, rougeâtre, blanc verdâtre, rose, verte, blonde, grise ou noire. Éclat nacré ou perlé.

Dureté, 3,5 à 4, plus forte que celle de la calcite.

Densité, 2,85 à 2,92.

Cristallise dans le système rhomboédrique.

L'attaque à l'acide chlorhydrique permet de la distinguer de la calcite; en effet, elle n'est que lentement attaquable et avec une effervescence faible, insensible quand le minéral n'est pas pulvérisé. Les morceaux se dissolvent entièrement sans dégagement de gaz apparent.

D. cristallisée. — Ordinairement en rhomboèdres. Le rhomboèdre de clivage de 106° 15' environ, est de beaucoup le plus fréquent, à l'inverse de ce qui a lieu pour la calcite. Les cristaux sont quelquefois modifiés sur les arêtes et sur les angles (pl. XII, fig. 1).

D. incrustante. — Dépôts cristallins très brillants sur la calcite.

D. massive, à texture laminaire ou granulaire.

D. pulvérulente. — En masses terreuses ou sablonneuses.

Les variétés chargées de 15 p. 100 de carbonate de fer et au-dessus brunissent à l'air par suite de l'altération de ce dernier. On leur donne le nom de *spaths brunissants.*

La dolomie se rencontre en couches dans les terrains anciens, dans les roches de cristallisation, au contact des roches éruptives et dans les gîtes métallifères.

Les beaux échantillons viennent de Freiberg, Braünsdorf, Schneeberg et Joachimsthal (Erzgebirge), Andreasberg, Clausthal, Zellerfeld (Harz), Traverselle (Piémont), Greiner (Tyrol), etc.

La dolomie sert à la préparation des sels de magnésie et donne par la calcination un ciment résistant.

COMPOSÉS DU BARYUM

Les principaux sont la *withérite* (carbonate) et la *barytine* (sulfate).

Withérite. — Carbonate de baryte $BaCO^3$.

Blanche, souvent jaunâtre ou grisâtre. Poussière blanche, éclat vitreux. Transparente ou translucide. Cassure inégale.

Dureté, 3 à 3,5. Densité, 4,2 à 4,3.

Cristallise dans le système orthorhombique.

Au chalumeau, fond en un émail blanc.

W. cristallisée. — Ordinairement en doubles pyramides hexagonales formées des faces d'une protopyramide orthorhombique et de celles d'un brachydôme. Cette double pyramide porte en outre les faces du prisme et du brachypinacoïde. Souvent trois cristaux sont maclés de telle sorte que les faces du brachydôme et du brachypinacoïde paraissent seules au dehors. On a alors un solide à symétrie pseudohexagonale (pl. XII, fig. 3).

W. aciculaire. — En cristaux déliés très brillants.

W. fibreuse. — Masses composées de fibres serrées les unes à côté des autres.

W. compacte. — A cassure passant au fibreux.

La withérite est isomorphe de la strontianite (carbonate de strontium) et de l'aragonite (carbonate de chaux orthorhombique).

C'est un minéral de filon accompagnant généralement les gisements de plomb.

Provenances principales : Arkendale et Walhope (Cumberland), Alston-Moor (Durham), Neuberg (Styrie), Schlangenberg (Sibérie), etc. — Sert à préparer les sels de baryte.

Barytine. — Sulfate de baryte $BaSO^4$.

Incolore, blanche, bleue, jaunâtre, rougeâtre ou brune, à éclat vitreux inclinant au résineux, quelquefois perlé, transparente, translucide ou opaque.

Dureté, 2,5 à 3,5. Densité élevée, qui permet souvent de la reconnaître à son poids, 4,3 à 4,7.

Cristallise dans le système orthorhombique. Elle se clive facilement, parallèlement aux faces du prisme et à la base, difficilement suivant le brachypinacoïde. La figure 4 de la planche XII montre le solide obtenu par le clivage des deux pinacoïdes et de la base.

Difficilement fusible au chalumeau en un émail blanc. Humectée d'acide chlorhydrique, elle colore la flamme en vert (baryum).

B. cristallisée. — En tables rectangulaires biseautées, aplaties suivant la base et terminées latéralement par des macrodômes et des brachydômes ; en pyramides rectangulaires formées d'un macrodôme et d'un brachydôme allongés suivant la brachydiagonale ; en prismes rectangulaires formés du macropinacoïde, du brachypinacoïde et d'une pyramide (pl. XII, fig. 5 et 6).

B. crêtée. — Groupements de cristaux lamellaires en strates parallèles diversement orientées et simulant grossièrement des crêtes de coq (pl. XII, fig. 7).

B. mamelonnée; stalactitique; botryoïde.

B. lamellaire.

B. compacte.

La barytine est une substance filonienne. Elle accompagne les filons de plomb, d'argent et de mercure, mais on la trouve aussi isolée en veines dans les terrains granitiques.

On la rencontre en Angleterre, au Harz, dans la Saxe, la Hongrie, la Transylvanie, à Almaden, à Royat, à Chessy, à Autun, en Thuringe, en Ecosse, etc.

Elle est employée à la préparation des sels de baryte et à la falsification de la céruse.

COMPOSÉ DU STRONTIUM

Célestine. — Sulfate de strontium $SrSO^4$. Ordinairement blanche avec une teinte bleuâtre, éclat vitreux passant souvent au perlé. Poussière blanche.

Dureté, de 3 à 3,5. Densité, de 3,92 à 3,97. Cassure imparfaitement conchoïdale ou inégale. Transparente ou translucide. Très fragile.

Cristallise dans le système orthorhombique, comme la barytine, avec laquelle elle est isomorphe.

Chauffée au chalumeau, décrépite et fond difficilement en un émail blanc. Humectée d'acide chlorhydrique, communique à la flamme une coloration pourpre intense (strontium).

C. cristallisée. — Ses formes sont analogues à celles de la barytine. Les cristaux isolés sont généralement allongés suivant la brachydiagonale. Ils portent ordinairement les faces du prisme, d'un brachydôme et la base, souvent diverses modifications sur les angles obtus et le brachypinacoïde (pl. XII, fig. 9).

C. réniforme. — En rognons et en géodes (Montmartre).

C. stalactitique. — En stalactites recouvertes de cristaux.

C. bacillaire et fibreuse. — En petites fibres droites parallèles (pl. XII, fig. 10).

La célestine est un satellite ordinaire des gîtes de soufre, auquel elle se trouve presque toujours associée (pl. XII, fig. 9).

Les beaux échantillons proviennent de Girgenti (Sicile); de Bex, en Suisse; de Conil, en Espagne; de Durnbourg, près d'Iéna; de la vallée de la Garonne, du Tyrol, de Retzbanya (Hongrie), etc.

COMPOSÉS DU GLUCINIUM

Cymophane ou Chrysobéryl. — Aluminate de glucine GlO,Al^2O^3. Vert-d'asperge, vert-d'herbe, vert-émeraude, jaune-d'or, verdâtre; à éclat vitreux, à cassure conchoïdale et inégale. Dureté, 8,5, rayant la topaze, rayée par le corindon. Densité, 3,5 à 3,84. Poussière blanche.

Cristallise dans le système orthorhombique. Transparente ou translucide. Infusible au chalumeau et inattaquable aux acides. Certains cristaux sont opalescents, d'autres présentent le phénomène de l'astérisme.

C. cristallisée. — En prismes droits à base rectangle, formés de la base et des deux pinacoïdes. Les cristaux isolés sont rares; ordinairement ils sont groupés par deux (pl. XII, fig. 11) ou par six autour de l'axe vertical.

C. roulée. — En cristaux arrondis et déformés par le transport dans les alluvions.

C. chatoyante. — A reflets bleuâtres et laiteux.

Le nom de cymophane (de κῦμα, flot, et de φαινεῖν, paraître) a été donné à cette espèce par Haüy. Il avait été frappé d'un chatoiement particulier à la plupart de ses variétés, et grâce auquel des reflets d'une couleur laiteuse et bleuâtre semblent flotter à leur intérieur en produisant des effets très agréables à l'œil. Antérieurement, ce minéral avait été confondu par les anciens, sous le nom de chrysobéryl, avec plusieurs autres d'aspect analogue. Haüy d'ailleurs, sur la foi d'analyses erronées de Klaproth, qui avait pris la glucine pour un mélange de silice et de chaux, s'était mépris sur sa véritable composition chimique. Toutefois, malgré la présence de la silice, il avait assigné dans sa classification à la cymophane une place entre le corindon, appelé alors *télésie,* et les spinelles, rectifiant ainsi par une sorte d'intuition les données fausses de l'analyse.

On trouve la cymophane dans les pegmatites ou dans les alluvions résultant de la désagrégation de ces roches.

On rencontre ce minéral au Brésil et à Ceylan, dans des alluvions, à Marchendorf, en Moravie, dans l'Oural avec émeraude et phénacite. La variété dite *alexandrite,* d'un beau vert, provient de ce gisement. On peut encore citer Haddam, dans le Connecticut, et Saratoga (New-York).

La cymophane et sa variété, l'alexandrite, sont classées parmi les pierres précieuses et sont employées en joaillerie. Les variétés d'un beau jaune d'or vif subissent une taille analogue à celle des diamants. Les variétés laiteuses et chatoyantes sont taillées en cabochon.

L'alexandrite est à demi opaque. A la lumière diffuse du jour elle paraît vert foncé, mais par transparence elle est d'un rouge gorge-de-pigeon.

Emeraude. — Silicate d'alumine et de glucine

$$3GlO,Al^2O^3,6SiO^2.$$

Ne pas confondre cette espèce avec l'*émeraude orientale,* qui est une variété de corindon. Vert pâle, vert dit *émeraude* passant au bleu clair. Quand elle est impure, elle est jaune et blanche. Poussière blanche, transparente ou translucide. Cassure conchoïdale ou inégale. Eclat vitreux, quelquefois résineux.

Dureté, 7,5 à 8, rayant difficilement le quartz, rayée par la topaze. Densité, 2,73 à 2,75.

Cristallise dans le système hexagonal.

Au chalumeau fond difficilement sur les bords.

E. cristallisée. — En prismes hexagonaux soit simples, soit diversement modifiés sur les arêtes ou sur les angles; la base existe presque toujours assez développée (pl. XII, fig. 12, 13 et 14).

E. cylindroïde. — En cristaux prismatiques accolés.

E. fibreuse. — En petites fibres parallèles.

E. compacte. — D'aspect vitreux ou lithoïde.

Les variétés portent des noms spéciaux suivant leur couleur; l'émeraude bleue constitue l'*aigue-marine;* vert jaunâtre ou jaune, le *béryl;* vert pur, l'*émeraude du Pérou.*

L'émeraude chatoyante a des reflets plus ou moins nacrés.

On trouve l'émeraude dans les pegmatites, les gneiss,

les micaschistes et dans les produits de désagrégation de ces roches, enfin dans un schiste argileux du Pérou.

Les principaux gisements sont : Chanteloube, près Limoges, Nantes, Autun, en France; Fimbo, Brodbo, en Suède; Chatam, Haddam, dans le Connecticut; les monts Oural et Altaï; la vallée de Tunca au Mexique. La célèbre mine de Muso est située dans cette vallée à une altitude de 87 mètres. Elle a été découverte en 1552. Les échantillons qui en proviennent sont souvent divisés par des inclusions de gangue en plusieurs fragments. Ils sont fragiles et se fendillent parfois au sortir de la carrière. On appelle *jardinée* l'émeraude fissurée.

On emploie en joaillerie l'émeraude du Pérou, l'aiguemarine et le béryl comme pierres d'ornement. On fait subir aux émeraudes soit une taille analogue à celle des diamants, soit une taille *à degrés*. On les entoure généralement de diamants ou de perles fines, mais il vaut mieux encore les associer aux rubis, le contraste des couleurs produisant les plus heureux effets.

Cette gemme est des plus estimées, et Haüy célèbre en ces termes sa beauté et son éclat : « L'émeraude, inférieure en dureté à plusieurs autres gemmes, rachète ce qui lui manque de ce côté par le charme de sa couleur. Le pourpre étincelant du rubis, le jaune doré de la topaze, le bleu céleste du saphir, sont de ces teintes que l'on se plaît à considérer successivement, et dont l'une nous distrait des beautés de l'autre. Mais le vert de l'émeraude est la couleur amie de l'œil, celle sur laquelle il semble se fixer, après avoir joui un instant des autres, la seule qui, selon le langage de Pline, *le remplisse sans le rassasier ;* celle qui, enfin, attache si agréablement notre vue sur le fond du tableau riant que nous offre la nature, lorsque la végétation est dans toute sa force. »

PLANCHE XII

1. **Dolomie.** — Carbonate double de magnésie et de chaux $MgO,CO^2 + CaO,CO^2$. En rhomboèdres fondamentaux brun jaunâtre. Leur surface est légèrement altérée. — Traverselle (Piémont).

2. **Dolomie.** — Variété dite « spath brunissant » contenant du carbonate ferreux, de couleur brun rougeâtre. Sur un chloritoschiste massif. — Greiner (Tyrol).

3. **Withérite.** — Carbonate de baryte $CaCO^2$. Cristaux orthorhombiques portant une pyramide et un brachydôme également développés, constituant par leur réunion une double pyramide pseudohexagonale. Sur withérite cristallisée. — Alston (Cumberland).

4. **Barytine.** — Sulfate de baryte $BaSO^4$. Solide de clivage correspondant à la base et au prisme.

5. **Barytine.** — La prédominance du macropinacoïde donne une apparence tabulaire aux cristaux qui portent en outre le brachypinacoïde. — Felsobanya (Hongrie).

6. **Barytine** en cristaux groupés en rosettes présentant individuellement un contour hexagonal. Les faces sont d'un blanc faiblement bleuâtre. Sur quartz coloré en brun jaunâtre. — Freiberg (Saxe).

7. **Barytine.** — En crête de coq, opaque, bleu grisâtre, en lamelles recourbées. Quelques petits cristaux de pyrite sont épars sur la surface. — Andreasberg (Harz).

8. **Barytine.** — En tables recouvertes d'un enduit d'hématite brune. Celle-ci étant enlevée par places, on aperçoit la barytine blanche. Beaucoup d'échantillons présentent ces incrustations. — Schapbachtat (Forêt Noire).

9. **Célestine.** — Sulfate de strontiane $SrSO^4$. De même forme primitive que les cristaux de barytine, ils sont striés sur les faces du brachydôme. Blanche, légèrement bleuâtre, vitreuse, transparente, satellite ordinaire des gîtes de soufre. — Girgenti (Sicile).

10. **Célestine** en minces lames parallèles, à texture fibreuse, d'un bleu pâle, engagée dans un calcaire coquillier. — Dornbourg, près d'Iéna.

11. **Cymophane** (variété **Alexandrite**). — Aluminate de glucine GlO,Al^2O^3 de composition analogue aux spinelles, macle de deux cristaux orthorhombiques vert-d'herbe. — Taganaï (Oural).

12. **Émeraude commune.** — Silicate double d'alumine et de glucine $3GlO,Al^2O^3,6SiO^2$. Prisme hexagonal basé, blanc jaunâtre, opaque. La gangue est un quartz blanc grisâtre. Provenant d'une pegmatite. — Rabenstein, près de Zwiesel.

13. **Émeraude noble.** — Prisme hexagonal basé, d'un vert-pomme, avec stries transversales correspondant au clivage basique. — Oural.

14. **Émeraude noble.** — Prisme hexagonal déformé engagé dans un chloritoschiste vert noirâtre. — Pinzgau (Tyrol).



1. **Dolomie.** *Carbonate double de chaux et de magnésie. Rhomboèdres.* 2. **Dolomie** *impure dite "Spath brunissant".* 3. **Withérite.** *Carbonate de baryte cristallisé.* 4. **Barytine.** *Sulfate de baryte. Solide de clivage.* 5. **Barytine** *cristallisée.* 6. **Barytine.** *Cristaux tabulaires.* 7. **Barytine,** *variété dite "Crête de coq".* 8. **Barytine** *avec épigènie d'Hématite brune.* 9. **Célestine.** *Sulfate de strontiane. Cristaux avec Soufre.* 10. **Célestine** *fibreuse bleue.* 11. **Cymophane.** *Aluminate de glucine. Cristal maclé.* 12. **Eméraude.** *Silicate d'alumine et de glucine. Variété commune. Prisme hexagonal.* 13. **Eméraude** *noble. Prisme hexagonal.* 14. **Eméraude** *noble. Prisme déformé.*

SILICE

Il n'y a pas de corps plus répandu dans la nature, et aucune substance peut-être n'est susceptible de présenter plus d'aspects divers. On la rencontre dans tous les terrains et à toutes les profondeurs, soit à l'état de masses isolées, soit intimement mélangée à d'autres espèces constituantes des roches, soit enfin en combinaison avec les oxydes basiques à l'état de silicates. On peut dire que la silice forme la charpente de la croûte terrestre.

Par sa dureté assez élevée, par son inaltérabilité à l'air et aux agents météoriques, par sa facile division à l'éclatement, elle est susceptible d'une foule d'usages. C'est elle qui a formé à l'origine des civilisations la matière première des armes et des outils de l'humanité naissante, et leurs débris sont les témoins irréfutables d'une activité industrielle et artistique qui se perd dans la nuit des temps préhistoriques.

Quelque nombreux que soient les aspects divers et les formes différentes revêtus par cette substance, on peut les rapporter à trois espèces principales bien distinctes : 1° la silice cristallisée ou *quartz;* 2° la *calcédoine,* mélange intime de quartz cristallisé et de silice cryptocristalline, qui comprend comme variétés l'agate et le jaspe; 3° l'*opale,* qui est de la silice hydratée en concrétions.

Quartz. — Silice cristallisée anhydre SiO^2.

Incolore quand il est pur, il peut présenter des couleurs accidentelles et être jaune, bleu, rouge, brun, vert ou noir. Éclat vitreux vif inclinant quelquefois au résineux. Cassure parfaitement conchoïdale, rarement subconchoïdale.

Sa dureté a été prise pour septième terme de l'échelle de Mohs et est caractérisée par le chiffre 7. Densité, de 2,5 à 2,67. Poussière blanche, grisâtre dans les variétés impures.

Le quartz cristallise dans le système rhomboédrique avec hémiédrie plagièdre. Il n'a pas de *clivage distinct,* caractère important qui sert à le reconnaître dans la pâte des roches. Il n'est fusible qu'aux plus hautes températures, et ce n'est que dans ces derniers temps que l'on a pu parvenir à en façonner des tubes, des capsules, des nacelles à l'usage des laboratoires de chimie, et encore ces objets sont-ils de petites dimensions et atteignent-ils des prix très élevés. Cette fusion s'opère au chalumeau oxyacétylénique. Ses propriétés optiques sont des plus intéressantes et ont été utilisées dans les instruments d'optique physique. Il est uniaxe, mais possède le pouvoir rotatoire. Par suite, une plaque taillée normalement à l'axe et placée entre nicols croisés donne des anneaux circulaires, et les bras de la croix centrale se recourbent en spirales, dites *spirales d'Airy*. Le quartz est donc susceptible de deux variétés, l'une droite, l'autre gauche, suivant le sens de la rotation du plan de polarisation. Ce fait correspond à un mode de cristallisation particulier et à l'existence des facettes hémièdres dites *rhombiques* ou *plagièdres,* les premières correspondant à un hémisocéloèdre, les secondes à des trapézoèdres trigonaux. Si le quartz est optiquement droit, ces facettes sont situées à droite en bas d'une face du rhomboèdre primitif; s'il est gauche, elles sont situées à la gauche de l'observateur (fig. 121). Mais le phénomène optique décrit ci-dessus n'a lieu que pour les faibles épaisseurs; si la lame a au moins 2 mm. d'épaisseur, les phénomènes dus à la polarisation rotatoire disparaissent, et l'on ne voit que la croix noire et les anneaux des cristaux uniaxes. L'épaisseur nécessaire pour l'obtention de la teinte sensible utilisée en lumière parallèle est de 3mm,75. Une telle plaque passe du violet-bleu (teinte sensible) au rouge par une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre si le cristal *est droit.*



Fig. 121.
Quartz droit.

On trouve de nombreux cristaux de l'une et l'autre espèce, mais aussi elles peuvent être réunies sur un seul par suite de macles, et alors il n'y a plus déviation du plan de polarisation. Ce fait se présente surtout dans la variété dite *améthyste,* où les variétés droite et gauche se compensent exactement. Il peut arriver quelquefois qu'un cristal paraissant simple porte à la fois des facettes hémièdres directes et inverses, de manière à simuler l'holoédrie, mais on reconnaît alors au microscope polarisant qu'il est composé de parties droites et de parties gauches juxtaposées de telle sorte que l'individu paraisse holoèdre. Il portera, par exemple, les facettes de l'isocéloèdre complet, mais les faces appartiennent alternativement à des plages d'espèce différente, il n'y a en quelque sorte qu'une holoédrie extérieure.

Quartz cristallisé. — Les cristaux dérivent d'un rhomboèdre de 94° 15'. Cette forme est excessivement rare à l'état isolé. On en a rencontré toutefois au Brésil dans la province de Minas-Geraës et dans l'île des Loups, dans le lac Onega (Russie). Les cristaux ont souvent une apparence hexagonale due à la combinaison du rhomboèdre primitif et d'un rhomboèdre inverse de même hauteur que le primitif, obtenu par troncature sur les angles latéraux. Il est désigné par $e_{\frac{1}{2}}$ dans le symbolisme de Lévy (pl. XIII, fig. 11). Ce système

est ordinairement associé au prisme hexagonal, dont les faces sont horizontalement striées. Cette variété est la plus commune. Les faces du rhomboèdre primitif sont plus brillantes et plus développées que celles du rhomboèdre inverse. Les cristaux sont quelquefois très réguliers (pl. XIII, fig. 1, 9, 11), mais souvent déformés de diverses manières et comme comprimés (pl. XIII, fig. 2, 4, 7, 14). La variété dite fusiforme porte les faces de plusieurs pyramides hexagonales formées chacune d'un certain rhomboèdre et de son inverse, et en outre celles du prisme hexagonal direct, ce qui donne au cristal l'apparence d'un fuseau. Les facettes rhombes et plagièdres d'un hémiscéloèdre et d'un trapézoèdre trigonal sont indiquées sur la figure 121, qui représente un quartz droit théorique.

Les différentes variétés dues à la forme, à la structure et enfin à la coloration sont excessivement nombreuses; nous ne parlerons que des principales.

Quartz en boule. — En masses sphéroïdales hérissées de pointes en forme de pyramides hexagonales.

Q. mamelonné. — En globules groupés et disposés de diverses manières (environs de Nantes).

Q. coralloïde. — En petits rameaux enchevêtrés disposés en touffes et hérissés de pointes brillantes.

Q. incrustant encapuchonné. — Superposition sur fluor et barytine de couches concentriques séparées par de minces lames de matières étrangères s'emboîtant pour ainsi dire, chacune d'elles formant le moule de la couche sous-jacente.

Q. pseudomorphique. — Cette espèce revêt souvent la forme extérieure de certaines autres qu'elle a remplacées par degrés insensibles; c'est ainsi qu'elle s'est substituée à la calcite rhomboédrique (Montbrison, Loire), au gypse lenticulaire (environs de Paris, Passy), à l'oligiste rhomboédrique (Framont, Vosges), à la fluorine octaédrique et cubique (Childe, Nièvre).

Q. compact. — En masses hyalines ou lithoïdes diaphanes, translucides ou laiteuses.

Q. bacillaire ou fibreux. — En fibres grossières, parallèles, divergentes ou entrelacées (pl. XIII, fig. 17).

Q. grenu. — Formé de l'agglutination de grains. Fragile (bords de la Marne, à Champigny, près Paris).

Q. haché. — Comme formé de copeaux hachés, orientés dans tous les sens (Andreasberg, Harz).

Q. chloriteux. — Cristaux pénétrés de chlorite en grains ou en écailles qui lui donnent une teinte verte (Dauphiné, Saint-Gothard) (pl. XIII, fig. 13).

Q. argentin. — Mélangé de mica bleu, ce qui lui donne un aspect nacré (Alpes du Dauphiné et de Savoie).

Q. prase. — Variété massive vert foncé, à éclat gras, mélangée d'actinote (pl. XIII, fig. 16).

Q. hématoïde (*hyacinthe de Compostelle*). — En cristaux opaques et isolés, d'un rouge de sang, disséminés dans une argile ferrugineuse avec aragonite et gypse à Saint-Jacques-de-Compostelle, en Galice; à Molina, en Aragon, et à Bastennes, près de Dax (pl. XIII, fig. 11).

Q. rubigineux. — Cristaux souillés de limonite d'un jaune de rouille, très petits et agglomérés en masse friable (Harz et Saxe).

Q. aventuriné. — Rouge ou brun coloré par des paillettes d'oligiste et parsemé de points brillants dus à des lamelles de mica (pl. XIII, fig. 15). Employé en joaillerie.

Q. améthyste. — Variété violette de teinte uniforme ou disposée en zones. Cette couleur a été attribuée à un composé de manganèse; toutefois elle disparaît à 250°, ce qui permet de supposer qu'elle est due à un composé du carbone. Elle se présente soit en cristaux isolés, soit en cristaux serrés les uns contre les autres, ne laissant paraître à l'extérieur que les pyramides pseudohexagonales. Elle tapisse aussi l'intérieur de géodes (Charente). Massive, elle montre des couches alternes vertes et blanches de quartz blanc d'aspect rubané. Très employée comme pierre d'ornement, elle constitue la *pierre d'évêque* (pl. XIII, fig. 4, 5 et 23). — Vient principalement de Ceylan, du Brésil, de Sibérie.

Q. fausse topaze. — Appelée ordinairement fausse topaze du Brésil ou de Bohême. Elle est d'un jaune pur, miellé ou roussâtre, à nuances chaudes; elle est assez recherchée en joaillerie comme pierre d'ornement (pl. XIII, fig. 8). Vient du Brésil, de Huttenberg, en Carinthie.

Q. enfumé, diamant d'Alençon, topaze enfumée. — De coloration noire fuligineuse. Cette teinte disparaît par la chaleur; on la rencontre à Alençon et à Chanteloube, près Limoges, dans les Alpes et en Sibérie (pl. XIII, fig. 6, 7, 9, 10).

Q. rose, faux rubis, rubis de Bohême. — De teinte rose plus ou moins foncée, ordinairement translucide ou opaque, souvent laiteux, rarement limpide. Sa couleur semble s'altérer à la lumière; on l'attribue à un oxyde de titane ou de manganèse, ou peut-être à une matière organique. Vient de Rabenstein, en Bavière (pl. XIII, fig. 22).

Q. bleu (*saphirine*). — D'un bleu foncé ou grisâtre. Principales provenances : Gölling, dans le Salzbourg, le cap Gades en Espagne, le Groënland.

Q. laiteux. — En cristaux pyramidés ou en masses vitreuses. C'est une variété des plus communes (pl. XIII, fig. 12).

Q. gras. — Analogue à la variété précédente, mais à éclat gras.

Q. noir. — Presque opaque.

Q. girasol. — Présente des reflets bleus et rouges sur un fond laiteux quand on expose la pierre à la lumière solaire.

Q. chatoyant, œil de chat, œil de tigre. — Jaune verdâtre ou jaune rougeâtre, à reflets nacrés blanchâtres, bruns ou jaunâtres, qui semblent flotter à l'intérieur quand on déplace la pierre. Ils sont dus à des fibres d'amiante incluses dans la masse. On taille les beaux échantillons en cabochon (pl. XIII, fig. 18, 19, 20, 21).

Q. fétide. — De Chanteloube, près Limoges. Il doit son nom à une odeur d'hydrogène sulfuré que l'on suppose provenir de ses fissures.

Cheveux de Vénus. — Quartz transparent pénétré de larges cristaux aciculaires de rutile rose ou de tourmaline noire (pl. XIII, fig. 14).

Caillou du Rhin. — Fragments de quartz cristallin arrondis par leur transport par les eaux.

La plupart de ces variétés sont employées comme pierres d'ornement en bijouterie et en joaillerie. Avant l'invention du cristal, le quartz hyalin limpide a été très employé comme matière première d'objets de luxe. Il a été travaillé surtout au xve et au xvie siècle, qui ont légué des pièces intéressantes aux collections d'amateurs. On en confectionnait des boîtes, des statuettes, des pendeloques, des lustres, des coupes quelquefois d'assez grandes dimensions. Ces objets étaient toujours

d'un prix élevé, la dureté du minéral rendant son travail long et difficile. Milan et Briançon furent des centres importants de cette industrie, et les produits de leurs fabriques rivalisaient avec les importations de la Chine et de l'Inde.

Le cristal artificiel a supplanté le cristal de roche pour ces divers usages. Actuellement le quartz hyalin sert à la confection de verres de lunettes de bonne qualité, résistant à la rayure.

Toutefois, comme on l'a vu plus haut, le quartz étant biréfringent donne en général deux images du même objet, inconvénient grave pour la netteté de la vision, but visé par le port de besicles. Il est toutefois facile à éviter en taillant les lames, non dans une direction quelconque, mais perpendiculairement à l'axe ternaire, qui est, on le sait, direction d'uniréfringence. Comme les rayons reçus par l'œil sont peu divergents, ils ne s'écartent pas sensiblement de l'axe et, par suite, donnent une image unique.

Le quartz jouissant de la polarisation rotatoire doit à cette propriété d'être employé à la confection des polarimètres.

Le quartz hyalin est répandu dans tous les terrains, mais particulièrement dans les terrains anciens. Ses gisements sont si nombreux qu'on ne saurait les énumérer.

Les cristaux limpides et bien formés sont rares. Les plus renommés en Europe sont ceux des Alpes du Dauphiné et de la Savoie, ceux des Pyrénées. Il y constitue soit des filons, soit le revêtement interne de cavités souterraines appelées *poches* et *fours à cristaux*. Ces gisements étaient déjà mentionnés par Pline.

La profession de *chasseur de cristaux* est des plus hasardeuses. Ceux qui s'y adonnent ont à explorer des crevasses profondes sur les parois desquelles s'ouvrent les poches à cristaux. Ces explorations se font à l'aide de cordes solides auxquelles se suspendent les hardis chercheurs dont l'audace procure aux collections leurs spécimens les plus estimés. La vallée de Viesch, dans le Valais, est encore réputée aujourd'hui.

Les gîtes métallifères de Saxe, de Hongrie, d'Angleterre, du Mexique, fournissent des cristaux de quartz, mais ils sont moins parfaits et par suite d'une valeur moindre.

Dans les terrains secondaires, tertiaires ou même plus récents, on trouve encore du quartz hyalin tapissant les fissures ou les géodes, mais ces cristaux sont toujours de petites dimensions.

Le quartz cristallisé est très rare dans les terrains d'origine ignée; on en trouve toutefois dans les trachytes, les basaltes et les laves modernes.

PLANCHE XIII

1. **Quartz hyalin.** — Cristal de roche SiO^2.

Cristal limpide présentant le prisme hexagonal et terminé par une pyramide composée des faces culminantes du rhomboèdre fondamental alternant avec les faces du rhomboèdre inverse. A gauche de la face triangulaire brillante supérieure, on aperçoit une petite facette plagièdre, obliquement placée. — Herkimer (New-York).

2. **Q. hyalin.** — En cristaux groupés plus ou moins déformés à leurs extrémités. — Dauphiné.

3. **Q. hyalin** taillé.

4. **Q. améthyste** violet et transparent. Cristal isolé. — Mursinska (Oural).

5. **Améthyste** taillée.

6. **Q. enfumé.** — Quartz transparent nuancé de brun fumeux. Les faces de la pyramide terminale sont cariées. — Tavestsch.

7. **Q. enfumé.** — Les faces de la pyramide supérieure sont dominantes, celles du prisme hexagonal subordonnées. Sur oligiste en lamelles hexagonales, avec sidérose en rhomboèdres contournés.

8. **Fausse topaze** taillée.

9. **Quartz enfumé.** — Impur, à arêtes vives portant la pyramide birhomboédrique, très régulière dans la plupart des échantillons, et le prisme hexagonal plus ou moins développé. — Pforzheim.

10. **Quartz enfumé** à faces courbes et contournées résultant de cristaux parallèlement orientés. — Alpes de Goschen.

11. **Hyacinthe de Compostelle.** — Quartz hématoïde opaque, coloré en rouge par de l'oxyde de fer et portant uniquement les faces de la pyramide et du prisme. Ces dernières font complètement défaut dans le cristal du milieu. — Espagne.

12. **Quartz laiteux** blanc en cristaux groupés portant les faces du prisme et de la pyramide. — Forêt Noire.

13. **Quartz chloriteux** à surface rugueuse. Il doit sa coloration verte à des inclusions de chlorite. — Bords de l'Aar, Oberland bernois.

14. **Quartz hyalin.** — Avec inclusion de minéraux libres; aiguilles rouges de rutile, noires de tourmaline, pénétrant le cristal dans toutes les directions. — Saint-Gothard.

15. **Quartz aventuriné** taillé. — Il doit son éclat chatoyant et sa vive coloration rouge à des inclusions de lamelles d'hématite rouge-de-sang.

16. **Quartz prase** vert-poireau à texture bacillaire et dont la coloration est due à de l'actinote.

17. **Quartz œil de chat** vert clair à structure fibreuse déterminée par des filaments d'asbeste.

18. **Quartz œil de chat** taillé, à éclat vitreux et chatoyant.

19-21. **Quartz œil de tigre.** — C'est du quartz dans l'intérieur duquel il y a eu séparation par voie chimique d'oxyde de fer et pénétration simultanée de hornblende asbestiforme. Reflets dorés, éclat fibrosoyeux. La figure 20 le montre à l'état brut, la figure 19 en plaque polie, la figure 21 taillé en sphère. — Dans un grès ferrugineux quartzifère. — Griqualand (Afrique du Sud).

22. **Quartz rose** en masse cristalline. La coloration disparaît par exposition à la lumière solaire et paraît due à une matière organique. — Zwiesel (Bayrischerwald).

23. Fragment d'un bloc d'**Améthyste.** Son apparence festonnée est due à l'alternance de dépôts cristallins successifs.



1. **Quartz** *hyalin. Silice cristallisée.* *2.* **Quartz** *hyalin. Cristaux allongés.* *3.* **Quartz** *hyalin. Taillé en brillant.* *4.* **Améthyste.** *Quartz violet.* *5.* **Améthyste** *taillée.* *6 et 7.* **Quartz enfumé** *d'un jaune brun.* *8.* **Quartz enfumé** *taillé.* *9 et 10.* **Quartz** *enfumé.* *11.* **Quartz** *Hématoïde (Hyacinthe de compostelle).* *12.* **Quartz** *laiteux blanc.* *13.* **Quartz** *chloriteux vert.* *14.* **Quartz** *hyalin avec aiguilles de Rutile.* *15.* **Quartz** *aventuriné taillé.* *16.* **Quartz** *prase massif.* *17.* **Quartz** *oeil de chat.* *18.* **Quartz** *oeil de chat taillé.* *19. 20 et 21.* **Quartz** *oeil de tigre.* *22.* **Quartz** *rose massif.* *23.* **Améthyste** *rubanée.*

SILICE (Suite).

Calcédoine. — Cette espèce a été longtemps considérée comme un mélange de quartz cristallisé et de silice amorphe, mais les travaux de MM. Rosenbuch, Mallard et Wallerant ont montré qu'on devait l'envisager comme formée de fibres d'un minéral particulier à symétrie triclinique et par suite biaxe. Suivant que les fibres sont allongées dans le sens du petit axe de l'ellipsoïde des indices, on a la *calcédoine* proprement dite; dans le sens du grand axe, on a la *quartzine;* dans toute autre direction, on a la *lutécite.* Cette dernière existe à l'état libre à Clamart, près de Paris, sous forme d'espèces de lentilles.

Au point de vue pratique on répartit les différentes variétés en : 1° calcédoine proprement dite; 2° agates, variétés colorées translucides sur les bords; 3° jaspes, variétés impures, opaques sur les bords.

Calcédoine proprement dite. — A éclat cireux, en masses mamelonnées ou botryoïdes, ou en stalactites d'un blanc bleuâtre. Elle tapisse souvent des géodes de silex (pl. XIV, fig. 4 et 5). On la trouve à Oberstein ou aux îles Feroë.

C. incrustante. — En pellicules minces sur des cristaux de quartz, à Pont-du-Château (Auvergne).

Agates. — *A. cornaline.* — Rouge-brique ou rouge-cerise à la lumière réfléchie. — Japon.

A. saphirine. — Bleu clair.

A. faux lapis. — Bleu-d'azur.

A. sardoine. — Brun jaunâtre ou orangé, rouge-sang à la lumière transmise.

A. prase. — Vert-poireau.

A. chrysoprase. — Vert-pomme colorée par l'oxyde de nickel (Silésie) (pl. XIV, fig. 6 et 7).

A. plasma. — Vert foncé.

A. héliotrope. — Verte, avec taches dues à des inclusions de jaspe rouge ou d'oxyde de fer (pl. XIV, fig. 8).

A. sardonyx. — Veinée de deux couleurs blanc et rouge, comme l'ongle sur la chair (pl. XV, fig. 7).

A. nicolo. — Une couche blanche sur une noire.

A. œillée. — Un cercle noir au centre d'anneaux de couleurs diverses.

A. arborisée. — Contenant des dendrites d'oxydes métalliques.

A. mousseuse. — Imprégnée de matières étrangères lui donnant l'apparence de mousse.

A. onyx. — On nomme ainsi toutes les variétés présentant des veines parallèles rapprochées de diverses nuances (pl. XIV, fig. 10, 11, 13; pl. XV, fig. 1, 2, 3, 4, 5).

A. pseudomorphique ou *bois silicifié.* — Fragments de végétaux dans lesquels la matière organique a été remplacée totalement par de la calcédoine, et qui ont conservé leur structure végétale après la transformation (pl. XIV, fig. 3).

Toutes ces différentes variétés ont une dureté très voisine de celle du quartz, peut-être un peu supérieure, ce qui tient à leur texture fibreuse. Elles font plus facilement feu au briquet. Les rognons d'agate sont postérieurs à la consolidation de leur enveloppe. On les trouve disséminés à l'intérieur de roches d'origine plutonienne telles que les porphyres, les trapps et les basaltes. Ces roches sont pénétrées de vacuoles dans lesquelles la silice a été amenée par de petits canaux à l'état de solution, elle s'est déposée dans ces sortes de moules en couches massives qui doivent leur coloration à la variation de composition du liquide incrustant. On peut constater (pl. XIV, fig. 9 et 10) sur quelques-unes les traces du canal d'introduction. Quelquefois le moule n'a pas été totalement rempli : il en résulte une géode; ou bien encore il a été comblé par du quartz cristallisé (pl. XV, fig. 1).

Bien que très dures et susceptibles d'un beau poli, les agates sont d'une texture poreuse et peuvent facilement s'imbiber de liquides divers. On a mis à profit cette propriété pour les colorer artificiellement à l'aide de diverses solutions susceptibles soit d'y déposer de la couleur, soit d'en produire par réaction chimique sur la substance de la pierre elle-même. La figure 13, pl. XIV, montre une agate dont diverses parties ont été *teintes* de cette manière.

On trouve la calcédoine proprement dite à Haylor, dans le Devonshire; en Ecosse, en Irlande, en Auvergne. La Saxe, l'Arabie, l'Inde, fournissent les cornalines. Les chrysoprases viennent de Gümberg, en Silésie; les héliotropes les plus renommées, de Bucharie, de Sibérie, de l'Orient. Toutes les variétés sont travaillées et polies à Oberstein.

Jaspes. — Ils sont absolument analogues comme couleurs et comme veinage aux agates, mais ils sont, à l'encontre de celles-ci, absolument opaques.

J. rubané. — Les couleurs sont dues à des oxydes de fer (pl. XIV, fig. 1).

J. rouge et jaune. — Souvent en rognons (pl. XIV, fig. 2). Colorations dues à des oxydes de fer.

J. sanguin. — Tantôt de couleur uniforme, tantôt parsemé de points rouges.

J. fleuri. — Veines de couleurs variées.

J. zonaire ou *caillou d'Égypte,* à bandes brunes sur fond jaune, parfois mélangé de dendrites noirâtres.

Les plus beaux jaspes viennent d'Egypte et de l'Inde.

Le jaspe n'est pas employé en bijouterie, il sert à l'ornementation des édifices; on l'y emploie concurremment avec les marbres.

PLANCHE XIV

1. **Jaspe rubané.** — Silice compacte microcristalline colorée en rouge et en gris par différents composés de fer répartis en couches parallèles. — Sibérie.

2. **Jaspe** globulaire. — Concrétions sphéroïdales testacées de silice ferrugineuse compacte jaune et rouge. — Environs de Schliengen.

3. **Bois pétrifié** poli, constitué principalement de silice microcristalline qui s'est substituée à la matière organique d'une tige d'*araucaria* fossile.

4. **Calcédoine** blanc bleuâtre, en concrétions stalactiformes sur une hématite brune. — Naila (Frankenwald).

5. **Calcédoine** translucide, d'un blanc laiteux, polie.

6 et 7. **Chrysoprase.** — Calcédoine colorée en vert par de l'oxyde de nickel, brute et taillée. — Silésie.

8. **Héliotrope.** — Calcédoine vert-poireau sombre avec taches rouge-de-sang, coloration due à de l'oxyde de fer.

9. **Agate** en rognon, sciée et polie. Elle résulte du remplissage d'une cavité par des couches de calcédoine déposées successivement et diversement colorées. On peut remarquer sur les figures le canal d'introduction qui donne passage aux liquides incrustants. — Brésil.

10. **Agate** en rognon comme la précédente, mais différant par la coloration des dépôts. — Brésil.

11. Fragment d'**Agate** poli en broche. La partie interne présente un dépôt de quartz cristallisé.

12. Brèche d'**Agate.** — Les fragments d'agate y sont cimentés par du quartz cristallisé.

13. **Agate** divisée en lames parallèles qui ont été séparément colorées artificiellement, puis réunies. En allant de gauche à droite, la première tranche a conservé sa couleur naturelle; la seconde a été colorée en noir par l'acide sulfurique et le miel, d'où dépôt de carbone; la troisième, imprégnée de sulfate de fer, puis calcinée; la quatrième, imbibée d'une solution de ferrocyanure de potassium, d'où dépôt de bleu de Prusse; la cinquième doit sa coloration verte à une couleur d'aniline; la sixième a été traitée par l'acide chlorhydrique; la dernière enfin par un rose d'aniline.



1. **Jaspe.** *Silice impure. Echantillon rubané.* 2. **Jaspe** *en rognon.* 3. **Jaspe** *xyloïde.* 4. **Calcédoine.** *Silice concrétionnée.* 5. **Calcédoine** *polie.* 6. **Chrysoprase.** *Silice impure taillée et polie.* 7. **Chrysoprase** *massive et taillée.* 8. **Héliotrope.** *Silice impure massive.* 9 et 10. **Agate.** *Silice impure sciée et polie.* 11. **Agate** *polie.* 12. *Brèche* **d'Agate.** *Fragments d'Agate eimentés par du Quartz cristallisé.* 13. **Agate** *artificiellement colorée.*

SILICE (Suite).

Opale. — Silice hydratée $SiO^2 + xH^2O$. Sous cette dénomination on comprend toutes les variétés de silice hydratée non cristallisée et concrétionnée. Dureté, 5,5 à 6,5. Densité, 1,9 à 2,3.

Cassure conchoïdale et inégale à éclat gras ou vitreux. Son principal caractère est de donner de l'eau au tube fermé quand on la chauffe. Au chalumeau elle décrépite. C'est une substance amorphe et colloïde ordinairement incolore; elle présente des jeux de lumière qui la font rechercher comme pierre d'ornement malgré sa faible dureté.

Les principales variétés sont les suivantes :

O. hyalite. — En perles vitreuses ou en concrétions mamelonnées d'une limpidité remarquable. Elle contient fort peu d'eau (pl. XV, fig. 8).

O. laiteuse. — Opaque, blanche, et nacrée en concrétions réniformes (pl. XV, fig. 12).

O. noble. — Très estimée des lapidaires à cause de ses reflets irisés et de la vivacité de ses teintes. Elle peut acquérir un grand prix (pl. XV, fig. 9 et 10).

O. de feu. — Présente l'éclat gras et des colorations très vives, jaunes ou rouges.

O. girasol ou chatoyante. — A fond laiteux d'un blanc bleuâtre, avec des reflets chatoyants.

O. verte ou *prasopale,* de couleur verte avec des reflets chatoyants; elle est rangée parmi les variétés communes (pl. XV, fig. 11).

O. hydrophane. — Blanche ou jaunâtre, très poreuse, opaque, mais prenant de la transparence quand on la trempe dans l'eau, qui chasse l'air de ses pores.

O. ferrugineux ou *jaspe opale,* variété commune à cassure résineuse, quelquefois panachée de diverses couleurs (pl. XV, fig. 13).

O. ménilite. — Opaque, brun bleuâtre ou grise. Variété impure des environs de Paris.

O. xyloïde. — Pseudomorphoses de bois en opale qui en présente la forme et la structure (pl. XV, fig. 14, 15).

O. commune. — D'aspects divers. Elle comprend toutes les variétés de silice à éclat résineux et dépourvues d'irisations (pl. XV, fig. 16).

On rencontre l'opale dans les trachytes, les porphyres, les basaltes, les roches amygdaloïdes, les serpentines, certains filons métallifères, certaines sources thermales et dans les marnes tertiaires.

Les différentes variétés proviennent de nombreuses localités en Auvergne, en Cornouaille, en Silésie, en Hongrie, en Saxe, au Mexique, en Toscane, au Piémont, à l'île d'Elbe, aux îles Feroé et en Islande.

PLANCHE XV

1. **Agate.** — Rognon poli montrant à son intérieur une druse de quartz cristallisé.

2 à 7. — Différentes variétés d'**Agate** en morceaux polis.

8. **Hyalite.** — Silice hydratée amorphe, transparente, incolore, à éclat vitreux, en masses bothryoïdes. — Saint-Louis, Potosi, Mexico.

9. **Opale** noble. — Silice hydratée amorphe à reflets irisés provenant de la structure interne du minéral. Dans les fentes d'un tuf volcanique. — Queretaro (Mexique).

10. **Opale** noble. — En inclusions dans les fentes d'une limonite argileuse. Échantillon remarquable. — Queensland.

11. **Opale** verte (prasopale). — Ne présentant pas les reflets irisés de l'opale noble, et dite « semi-opale » ou « opale commune ». — Mähren.

12. **Opale** laiteuse. — Rappelle par son aspect le verre opalin dépoli. En concrétions réniformes dans les gîtes serpentineux en voie de décomposition. — Kosemitz (Silésie).

13. **Jaspe opale.** — Brun-de-foie, opaque, cassure lisse, brillante et fortement conchoïdale. — Hongrie.

14. **Opale xyloïde.** — Pétrification de tige d'arbre ayant conservé la structure microscopique ligneuse dans ses plus petits détails. — Hongrie.

15. **Opale de bois.** — Les rayures blanches et grises correspondent aux paquets de fibres du bois silicifié. — Galicie.

16. **Opale** commune testacée et concrétionnée.



1. **Agate.** *Silice impure avec druse intérieure de Quartz cristallisé. 2 à 7.* **Agates** *polies. 8.* **Hyalite.** *Silice hydratée. 9 et 10.* **Opale noble.** *Silice hydratée. 11.* **Opale** *commune verte. 12.* **Opale** *laiteuse. 13.* **Jaspe opale.** *14 et 15.* **Opale** *xyloïde. 16.* **Opale** *commune.*

MINERAIS DE ZIRCONIUM, DE TITANE ET D'ÉTAIN

A côté de la silice viennent se placer, grâce à leurs analogies chimiques, le zircon, l'acide titanique et l'oxyde d'étain. Ces corps ont des formules analogues. Les composés chlorés et bromés ont aussi des formules identiques et des propriétés analogues; ils correspondent à la formule générale MR^4, comme les oxydes à la formule RO^2. Bien que le zircon soit un silicate, il convient de le réunir aux trois autres oxydes.

Zircon. — Silicate de zirconium ZrO^2,SiO^2.

Brun rougeâtre, rouge-hyacinthe, jaune, jaune brunâtre, bleuâtre, incolore.

Dureté, 7,5. Densité, 4 à 4,7.

Cristallise dans le système quadratique.

Clivages nets suivant les faces du prisme fondamental et d'une protopyramide. Cassure conchoïdale et brillante. Infusible au chalumeau, il perd sa couleur au feu.

Z. cristallisé. — Deux types principaux de cristaux : 1° le prisme fondamental terminé par un protooctaèdre (type des monts Ilmen, pl. XVI, fig. 1) ; 2° le prisme inverse terminé de la même manière (type d'Expailly, pl. XVI, fig. 2). Pour un certain développement, ces derniers cristaux diffèrent très peu du dodécaèdre rhomboïdal régulier.

Z. granuliforme. — Petits cristaux émoussés par les frottements dus au transport par les eaux de certaines rivières.

On le rencontre dans les syénites éléolitiques, les gneiss, les basaltes, les trachytes, les roches volcaniques modernes, en Auvergne, à Expailly, près du Puy; en Norvège, au Groënland, à Ceylan, en Égypte, etc.

Il est employé en joaillerie, mais c'est une pierre peu estimée, en général, à cause de son peu d'éclat. — Employé à l'extraction de la zircone.

Rutile. — Acide titanique TiO^2.

C'est l'une des trois formes de l'acide titanique, dont les deux autres sont l'anatase et la brookite. Le rutile et l'anatase cristallisent tous les deux dans le système quadratique, mais avec des formes primitives incompatibles, de dimensions différentes. La brookite est orthorhombique.

C'est une substance rougeâtre, jaune ou brune.

Dureté, 6 à 6,5. Densité, 4,27.

Éclat adamantin, poussière gris brunâtre. Infusible au chalumeau.

Il est isomorphe de l'oxyde d'étain ou cassitérite.

R. cristallisé. — En prismes quadratiques souvent modifiés par le prisme inverse, ou en prismes octogonaux surmontés d'une pyramide quadrangulaire.

R. maclé. — Réunion de deux cristaux suivant un plan parallèle à une face de protopyramide (fig. 122 et pl. XVI, fig. 3). Cette macle peut être répétée plusieurs fois (pl. XVI, fig. 4).

R. aciculaire. — En petits cristaux aciculaires très déliés, tantôt isolés, tantôt enchâssés dans le quartz hyalin, d'où ils ont quelquefois disparu en laissant le vide correspondant (cheveux de Vénus).

R. réticulé, sagénite. — En paquets d'aiguilles parallèles se croisant sous un angle déterminé (pl. XVI, fig. 5).

R. amorphe. — Masses compactes ou laminaires incluses dans différentes roches.

Le rutile se trouve disséminé dans les roches cristallines, les granites, les pegmatites, les gneiss, les micaschistes, les calcaires cristallins anciens, la protogyne, les filons de magnétite et de sidérose.

Fig. 122.
Macle de Rutile.

Il est souvent associé à la magnétite, l'oligiste, la chlorite, le talc, le disthène, la tourmaline et le diopside. On le rencontre à New-Jersey, au Saint-Gothard, au Binnenthal (canton de Wallis), au Pfitschthal (Tyrol), dans les Alpes de Salzbourg, en Géorgie, au Brésil, à Rosenau en Hongrie, à Arendal en Norvège, dans l'Oural, etc.

Anatase. — Deuxième forme de l'acide titanique. Bleu, indigo, brunâtre ou jaune-de-miel, noire, à éclat adamantin presque métallique.

Dureté, 5,5 à 6. Densité, 3,83 à 3,93. Infusible. Quadratique comme le rutile, mais sa forme primitive n'a pas les mêmes dimensions. Les cristaux, généralement petits, sont des octaèdres aigus généralement très réguliers. Ils sont souvent épointés par un deuxième octaèdre plus surbaissé (pl. XVI, fig. 6).

On rencontre l'anatase implantée sur les parois des fentes des micaschistes, des chloritoschistes, des granites, des diorites, des filons de magnétite, au Binnenthal, au Saint-Gothard, dans l'Oural, en Silésie, en Bavière, en Dauphiné, dans l'Oisans, en Norvège près d'Arendal.

Cassitérite. — Oxyde d'étain SnO^2.

Brune, brun rougeâtre ou noire, quelquefois rouge ou jaune, à éclat adamantin. Poussière blanche, grisâtre ou brune.

Dureté, 6 à 7. Densité forte, de 6,3 à 7,1.

Elle cristallise dans le système quadratique et est isomorphe avec le rutile.

Infusible au chalumeau, elle donne sur le charbon,

après addition de soude ou de cyanure de potassium, un globule métallique d'étain. Opaque en masse, elle est brune en lames minces à la lumière transmise.

C. cristallisée. — En prismes quadratiques souvent modifiés par le prisme inverse. Ils sont terminés par les faces d'un protooctaèdre quadratique souvent modifié par les faces de l'inverse. Les cristaux sont striés parallèlement aux arêtes du prisme.

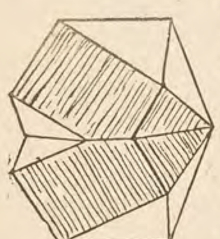


Fig. 123. — Macle en visière de la Cassitérite.

C. maclée. — Deux cristaux se réunissent par hémitropie autour d'une normale à la face d'un deutéroctaèdre suivant la loi du rutile. On obtient alors la macle en visière caractéristique de l'espèce et ressemblant à la visière d'un casque de chevalier (pl. XVI, fig. 7). La figure 123 représente la macle théorique.

C. fibreuse ou étain de bois. — Masses concrétionnées d'aspect fibreux, bigarrées de rouge et de brun, et présentant l'apparence de certains bois. Elles ont généralement pour noyau un cristal de quartz.

C. stalactitique. — Très rare en stalactites entières, ordinairement en fragments brisés et roulés.

C. granuliforme ou amorphe. — En masses compactes arrondies, en cailloux roulés ou en grains sablonneux disséminés dans des sables et des alluvions anciennes.

La cassitérite est le minerai d'étain par excellence. Sa réduction facile par le charbon rend sa métallurgie très aisée, aussi l'étain est-il l'un des métaux les plus anciennement utilisés.

La cassitérite se rencontre en veines traversant le granite, le gneiss, les schistes micacés ou argileux et les porphyres.

Ses gisements sont presque toujours accompagnés de minéraux fluorés. Elle y est associée ordinairement à l'apatite, à la fluorine, à la topaze, à la blende, au wolfram, au rutile, etc. Les cristaux isolés viennent le plus souvent de Bohême, de Saxe, de Cornouaille. Les cristaux maclés de Zinwald et de Schlakenwald atteignent des poids considérables. On la trouve encore à Limoges, en Galicie, en Suède, au Groënland, dans la presqu'île de Malacca et dans l'île de Banca. L'étain de bois se rencontre en Cornouaille et au Brésil.

SILICATES

Andalousite. — Silicate d alumine, Al^2O^3,SiO^2. Rouge, rougeâtre, gris verdâtre ou violette. Dureté, 7 à 7,5. Densité, 3,10 à 3,19.

Cristallise dans le système orthorhombique.

Infusible.

A. cristallisée. — En prismes orthorhombiques très voisins de 90° (exactement 90° 13′), et par suite presque quadratiques. Ils sont généralement basés et quelquefois modifiés légèrement sur les angles (pl. XVI, fig. 8).

A. compacte. — Sert de base aux cristaux.

Fig. 124. Andalousite.

A. chiastolite. — C'est de l'andalousite ayant entraîné dans sa cristallisation des substances schisteuses noirâtres ou bleuâtres disposées en bandes prismatiques le long des arêtes verticales et suivant l'axe vertical, de sorte que la section normale présente une sorte de marqueterie visible sur la section droite polie du minéral (pl. XVI, fig. 9).

Certains schistes des terrains anciens sont pénétrés de petits cristaux d'andalousite orientés dans tous les sens (pl. XVI, fig. 10).

L'andalousite appartient aux terrains cristallophylliens et se rencontre dans les granites, les gneiss, les micaschistes, à Montbrison, dans le Forez; en Bretagne; à Lisens (Tyrol); à Lamerwinkel, en Bavière; à Braundorf, près de Freiberg (Saxe); en Irlande; à Cordoso, et à Tolède (Espagne); etc.

Disthène. — Silicate d'alumine Al^2O^3,SiO^2. Même composition que l'andalousite. Ce minéral est remarquable par la variation de la dureté observée sur les faces latérales du prisme les plus développées. Dureté, 5, parallèlement à l'allongement; 7, dans le sens perpendiculaire.

Le disthène peut être incolore, blanc, bleu, gris bleuâtre. Le plus souvent il est bleu-ciel. On lui donne dans ce cas le nom de *cyanite* (pl. XVI, fig. 11).

Il cristallise dans le système triclinique.

Clivage parfait suivant les faces les plus développées (pinacoïde). Transparent ou translucide, éclat vitreux sauf sur les faces de clivage, où il est nacré.

Infusible, il sert quelquefois de support pour les essais au chalumeau, grâce à cette propriété.

D. cristallisé. — En prismes à 4 ou 8 faces assez larges, rarement terminés par la base et des modifications parallèles aux arêtes basiques.

D. bacillaire ou fibreux. — En agglomération de cristaux fibreux enchevêtrés (pl. XVI, fig. 12).

D. lamellaire. — En masses lamellaires.

Le disthène se rencontre dans les schistes anciens et les roches analogues, le calcaire grenu, les pegmatites, les micaschistes, les leptynites schisteuses et granitoïdes. Il est fréquemment associé à la paragonite (mica de soude), la staurotide, le grenat, la tourmaline.

On rencontre de beaux cristaux au Saint-Gothard, à Greissen et à Pfitsch (Tyrol), en Styrie, en Carinthie, en Bohême, en Norvège, à Pontivy, à Villarica (Amérique du Nord), etc.

Staurotide ou pierre de croix. — Silicate hydraté de fer et de magnésie, de composition assez complexe $11SiO^2,12Al^2O^3,6(Mg, Fe)O + 2H^2O$, rouge-brun, brun-chocolat, grise ou noire. Opaque en masses, jaune par transmission en lames minces. Infusible.

Éclat vitreux inclinant au résineux. Poussière blanchâtre ou grisâtre.

Dureté, 7 à 7,5. Densité, de 3,3 à 3,8. Cassure conchoïdale. Cristallise dans le système orthorhombique.

Fig. 125. — Croisette.

S. cristallisée. — En prismes orthorhombiques modifiés généralement par le brachypinacoïde (pl. XVI, fig. 13), quelquefois portant des modifications sur l'angle obtus.

S. maclée. — Il y en a de trois espèces, dont deux seulement sont fréquentes : 1° la macle en croix grecque ou *Croisette* (fig. 125), formée de deux cristaux orthorhombiques dont les axes verticaux sont à angle droit (fig. 79, p. 26) très commune en Bretagne (pl. XVI, fig. 14); 2° la macle en croix de Saint-André, où les deux cristaux se pénètrent obliquement (pl. XVI, fig. 15 et 16).

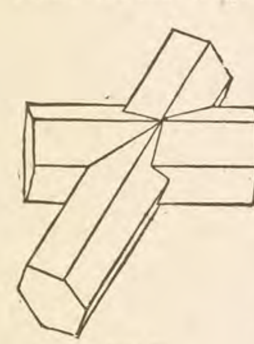


Fig. 126. Staurotide maclée.

S. grenatite. — D'un rouge foncé translucide rappelant le grenat par son aspect et associée (Saint-Gothard) au disthène, au grenat et à la paragonite (pl. XVI, fig. 17).

On rencontre la staurotide dans les roches cristallophylliennes et les schistes argileux qui en dépendent.

En Bretagne, les cristaux ont été détachés de leurs roches d'origine et se sont répandus dans les terres et dans les cours d'eau.

On rencontre la staurotide commune maclée dans le département du Finistère, près de Quimper, dans le Var à Curay; à Saint-Jacques-de-Compostelle en Galice; au Saint-Gothard; dans le Zillerthal, en Tyrol; etc.

Topaze. — Fluosilicate d'alumine de formule complexe ayant pour composition brute $Al^{12}Si^6Fl^{10}O^{25}$. Il est probable que le fluor remplace l'oxygène, et dans l'alumine et dans l'acide silicique.

Incolore, blanche, jaune, rose, verte ou bleue; à éclat vitreux; transparente ou translucide; poussière blanche.

Dureté prise pour huitième terme de l'échelle de Mohs et représentée par le nombre 8.

Cassure subconchoïdale et inégale.

Cristallise dans le système orthorhombique avec hémimorphisme. Clivage parfait suivant la base.

Infusible, inattaquable aux acides, pyroélectrique.

T. cristallisée. — En prismes orthorhombiques simples ou modifiés sur les arêtes verticales par un brachyprisme, terminés par la base et portant les facettes de plusieurs protooctaèdres surbaissés, ou encore par un brachydôme accompagné d'autres modifications (pl. XVI, fig. 18, 19 et 21). Les cristaux sont souvent longitudinalement striés.

T. cylindroïde. — En prismes accolés suivant leur longueur et striés longitudinalement (pl. XVI, fig. 23).

T. roulée. — En cailloux roulés par les eaux.

T. grenue. — En veines dans certaines roches dites « roches à topaze ».

La topaze se rencontre dans les granites et les gneiss; c'est un satellite ordinaire des gîtes d'étain.

Elle est presque toujours associée à la tourmaline, au mica, à l'émeraude, avec le quartz, la tourmaline et le lithomarge; unie au quartz, elle constitue le *topazfels* de Werner.

Le cristal de roche du Brésil est souvent pénétré de topaze.

La topaze se rencontre aussi dans les alluvions provenant de la désagrégation de ces roches.

Les topazes vertes et bleues viennent de l'Oural et des monts Altaï, de Miask, en Sibérie, du Kamschatka; les topazes jaune foncé, du Brésil.

La topaze est une pierre très estimée en joaillerie, quand elle est parfaitement transparente et de couleur jaune pur, jaune-orangé, jaune-hyacinthe ou rose. On peut donner cette dernière teinte aux topazes jaunes ou roussâtres en les calcinant d'une façon ménagée; on obtient alors des « topazes brûlées ». Les topazes bleues ont peu de valeur. On imite le diamant avec les topazes incolores.

Tourmaline. — On désigne sous ce nom général un certain nombre de minéraux qui sont des borosilicates fluorifères. Leur composition est très variable et oscille autour d'un certain nombre de types (voir p. 68). Le fluor y entre toujours en petite quantité. Toutefois, malgré cette divergence de constitution, elles possèdent des caractères cristallographiques et physiques très voisins.

Les principaux sont :

Une forme cristalline rhomboédrique commune, caractérisée par un dièdre culminant de 133° 8′, avec hémimorphisme.

Une dureté de 7 à 7,5; un poids spécifique de 2,94 à 3,021.

Elles ont toutes l'éclat vitreux, mais sont de couleur très variée. Elles peuvent être noires, bleues, vertes, rouges, rarement incolores.

T. cristallisée. — Généralement en prismes à neuf pans; trois d'entre eux, également inclinés les uns sur les autres, appartiennent au prisme hexagonal direct affecté par l'hémiédrie; les six autres sont les faces du prisme inverse, qui n'est pas touché dans ce cas. Quand les premières sont très développées, le cristal prend l'apparence générale d'un prisme triangulaire. L'hémimorphisme se manifeste à la terminaison des extrémités, qui présentent des faces de nature différente. Souvent l'une d'elles est terminée par un rhomboèdre simple, tandis que l'autre porte le même rhomboèdre modifié ou un rhomboèdre différent (pl. XVI, fig. 24; pl. XVII, fig. 1, 6).

T. cylindroïde. — Groupement de cristaux parallèles à l'axe, à faces cannelées.

T. aciculaire. — Petits prismes allongés, très déliés, enchevêtrés les uns dans les autres.

T. bacillaire. — A fibres divergentes ou entrelacées (pl. XVII, fig. 5).

T. rubellite. — De couleur rose (pl. XVII, fig. 4).

T. compacte, vitreuse ou lithoïde. — Sans forme extérieure déterminée.

Les cristaux de tourmaline présentent quelquefois des parties différemment colorées sur le même indi-

vidu. Il en est ainsi dans les échantillons représentés par les fig. 2 et 3 de la pl. XVII.

C'est un minéral des terrains cristallophylliens. On le rencontre dans les granites, les gneiss, les micaschistes, les talcschistes, la dolomie, et dans les produits de désagrégation de ces roches.

Les plus beaux cristaux proviennent du Groënland, de Hörlberg (Bavière), de Käringbricka (Suède), d'Andreasberg (Harz), d'Ékaterinembourg (Sibérie), de Kappell (Carinthie), d'Airolo et du Saint-Gothard (Suisse), de Naxos, enfin de nombreuses localités des États-Unis.

Les variétés remarquables par leur couleur ont reçu des noms particuliers. Tourmaline bleue, *indicolite*; incolore, *achroïte*; rouge, *rubellite*. La tourmaline verte du Brésil, l'achroïte et la rubellite sont classées comme pierres précieuses. Elles peuvent acquérir une assez grande valeur quand elles sont d'une limpidité parfaite.

PLANCHE XVI

1. **Zircon.** — Silicate de zircone ZrO^2,SiO^2. Variété commune brun-girofle. Cristal composé du prisme quadratique et d'une pyramide. C'est la forme qu'il affecte généralement dans les pegmatites et les syénites de Norvège et de l'Oural. — Miask, Oural.

2. **Zircon noble (Hyacinthe).** — En inclusion dans une lave volcanique. — Laacher, See.

3. **Rutile.** — Acide titanique cristallisé. Prisme quadratique cannelé noir rougeâtre, à éclat adamantin et longitudinalement strié. A la partie inférieure on trouve la macle en « genou » caractéristique de cette espèce; elle a lieu suivant une face d'octaèdre. — Tyrol.

4. **Rutile.** — Échantillon de même provenance montrant la répétition de la macle.

5. **Sagénite.** — Variété de rutile en prismes aciculaires déliés, rouge-rubis, parallèles et se croisant par paquets sous l'angle de la loi de macle. — Col de Trémola, Saint-Gothard.

6. **Anatase.** — Autre forme d'acide titanique quadratique encore, mais incompatible avec celle du rutile. Octaèdres aigus. Les stries horizontales sont caractéristiques. Ce minéral est bleu-d'acier et possède l'éclat adamantin. La gangue est un gneiss. — Piz-Aul (Alpes suisses).

7. **Cassitérite.** — Oxyde d'étain SnO^2. Forme cristalline et macle du rutile. Son éclat adamantin est remarquable. Les faces du prisme sont striées longitudinalement. La loi de macle signalée pour le rutile donne ici la macle en « visière ». La gangue est constituée par une argile brun jaunâtre. — Altenberg (Erzgebirge saxon).

8. **Andalousite.** — Silicate d'alumine Al^2O^3,SiO^2. En cristaux orthorhombiques, composés d'un prisme de 90° 50′ et terminés par la base, un macro et un brachydôme. La surface est couverte d'un enduit rougeâtre d'oxyde de fer et de minces lamelles de mica. L'intérieur est incolore. — Lisens (Tyrol).

9. **Chiastolite.** — Variété d'andalousite qui, cristallisant dans des schistes bitumineux, s'est imprégné d'une façon si régulière de substances noirâtres qu'il se produit ainsi dans la masse une sorte de marqueterie des plus symétriques. Cette apparence est parfaitement rendue ici sur un cristal poli perpendiculairement à l'axe et taillé en chaton de bague. — Bretagne.

10. Schiste argileux carbonifère présentant dans sa masse de nombreux petits prismes de **Chiastolite** diversement orientés. — Gefrees (Fichtelgebirge).

11. **Disthène.** — Même composition chimique que l'andalousite. Cristaux en longs prismes tricliniques. Stries parallèles aux arêtes verticales. Sa coloration bleue plus ou moins intense lui a fait donner aussi le nom de *cyanite*. — Faido (Tessin).

12. **Disthène.** — Association en tiges bacillaires divergentes. — Roeraas (Norwège).

13. **Staurotide.** — Silicate d'alumine et d'autres oxydes de composition très complexe. Le cristal représenté ici porte les faces du prisme, du brachypinacoïde et les bases. Le minéral, d'un brun grisâtre, provient d'un micaschiste. — Géorgie (Amérique du Nord).

14. **Staurotide.** — Macle provenant de la pénétration de deux cristaux perpendiculairement orientés. — Même provenance.

15 et 16. **Staurotide.** — Macles résultant de la pénétration de deux cristaux symétriques par rapport à une face de pyramide. — Même provenance.

17. Association de **Staurotide** brune et de **Disthène** bleu dans un micaschiste blanc-d'argent avec écailles de paragonite (mica de soude). — Faido (Tessin).

18. **Topaze.** — Silicate fluorifère d'alumine. Prisme orthorhombique rouge vineux strié verticalement et simplement terminé par la base. — Brésil.

19. **Topaze.** — Cristal terminé par une pyramide et un dôme.

20. **Topaze** taillée en chaton de bague.

21. Échantillon remarquable de *roche à topaze* ou *topazosème*. Les cristaux ont une forme pour ainsi dire théorique. Ils portent les faces de divers prismes verticaux d'un brachydôme, et la base. Ils sont transparents, jaune-de-miel, et sont mélangés de cristaux de quartz. — Erzgebirge.

22. **Topaze** incolore en veines dans un schiste à strates parallèles dont les plages jaunâtres sont constituées d'un mélange de quartz et de topaze, et les plages sombres de tourmaline.

23. **Topaze** commune (**Pyknite**). — Cristaux en tiges bacillaires, parallèles, soudées, de couleur jaune, à éclat vitreux, avec mica lithique brun sombre. Association caractéristique des gîtes stannifères. — Zinnwald (Bohême du Nord).

24. **Tourmaline.** — Borosilicate d'alumine de fer, de magnésie et d'alcalis de composition chimique très complexe. (Voir page 68.) En cristaux prismatiques hémièdres à éclat vitreux. La gangue est constituée de quartz cristallin blanc. — Modum (Norvège).



1. **Zircon.** *Silicate de zircone cristallisé. 2.* **Zircon** *noble. 3 et 4.* **Rutile.** *Acide titanique. Cristaux géniculés. 5.* **Sagénite.** *Variété aciculaire de Rutile. 6.* **Anatase.** *Acide titanique. Octaèdres quadratiques. 7.* **Cassitérite.** *Oxyde d'étain. 8.* **Andalousite.** *Silicate d'alumine cristallisé. 9.* **Chiastolite.** *Variété d'Andalousite. Echantillon taillé et poli. 10.* **Chiastolite.** *Cristaux dans un schiste. 11.* **Disthène.** *Silicate d'alumine. Cristaux prismatiques. 12.* **Disthène** *massif à structure fibroradiée. 13.* **Staurotide.** *Silicate hydraté de fer et de magnésie. Cristat isolé. 14.* **Staurotide.** *Macle en croix grecque. (Croisette). 15 et 16.* **Staurotide.** *Macles en croix de St. André. 17.* **Staurotide** *(brune) et* **Disthène** *(bleuâtre) dans une roche micacée. 18 et 19.* **Topaze.** *Fluosilicate d'alumine cristallisé. 20.* **Topaze** *taillée en chaton de bague. 21.* **Topaze.** *Cristaux jaunes dans une roche. 22.* **Topaze** *incolore en inclusions dans une roche. 23.* **Topaze** *gris jaunâtre en tiges bacillaires. 24.* **Tourmaline.** *Borosilicate fluorifère d'alumine, de magnésie, de fer et d'alcalis.*

SILICATES (Suite).

Idocrase. — Silicate d'alumine, de fer, de magnésie et de chaux hydraté $8(Mg,Ca)O,2(Al,Fe)^2O^3,7SiO^2,H^2O$ ou $12(CaMg)O,3(AlFe)^2O^3,10SiO^2+2H^2O$. Vert-pistache, vert-olive, vert-émeraude, jaune, jaune verdâtre, jaune-de-miel, brune, brun-roux, bleue ou noire. Polychroïque, verte dans la direction de l'axe principal, vert-pistache transversalement, à éclat vitreux inclinant au résineux, poussière blanche, cassure conchoïdale ou inégale.

Dureté, 6,5. Densité, 3,34 à 3,8, fond au chalumeau avec boursouflement.

Cristallise dans le système quadratique.

I. cristallisée. — Prismes quadratiques à 4 ou à 8 pans, combinaison du protoprisme et du deutéroprisme inverse, terminés par les faces d'un protooctaèdre et de la base (pl. XVII, fig. 8, 9 et 10).

I. cylindroïde. — En prismes accolés verticalement.

I. bacillaire. — Masse de cristaux aciculaires groupés autour de centres (pl. XVII, fig. 11).

En petits filons dans les gneiss, les micaschistes, les serpentines, où elle est associée au grenat, à l'épidote, au pyroxène et au sphène. On la trouve aussi dans les dolomies et les laves.

Les principales provenances sont les Alpes, les Pyrénées, Oravicza (Bannat), le Vésuve, la Somma, la vallée d'Ala (Piémont), Egy (Norvège), l'Oural, la vallée de Fassa (Tyrol), etc.

Elle est employée en joaillerie comme pierre d'ornement quand elle est limpide, mais elle n'a que peu de valeur.

Cordiérite. — Silicate d'alumine, de fer et de magnésie $3MgO,3(Al,Fe)^2O^3,8SiO^2$ ou $2MgO,2(Al,Fe)^2O^3,5SiO^2$. Violette, bleuâtre, bleu fumeux, bleu sombre.

Dureté, 7,5. Densité, de 2,59 à 2,66. Cassure conchoïdale.

Elle cristallise dans le système orthorhombique. Au chalumeau elle fond difficilement sur les bords. Cette espèce est remarquable par son polychroïsme. Certains cristaux d'un bleu foncé dans la direction de l'axe vertical, sont d'un blanc grisâtre normalement au macropinacoïde, et d'un blanc jaunâtre normalement au brachypinacoïde. Elle présente souvent de nombreuses inclusions.

C. cristallisée. — En prismes à six faces, dont quatre sont constituées par le prisme primitif, les deux autres par l'un ou l'autre des pinacoïdes. Ils sont terminés par la base, modifiée ou remplacée par une protopyramide et un brachydôme (pl. XVII, fig. 12).

C. massive. — En masses vitreuses sans formes extérieures nettes (pl. XVII, fig. 13 et 14).

Les variétés bleues prennent le nom d'*iolite*, bleu fumeux de *peliom* (Bavière). Celle des alluvions de Ceylan en cailloux roulés, transparente, d'un beau bleu, est connue sous le nom de *saphir d'eau*.

La cordiérite est disséminée dans les granites, les micaschistes, les trachytes, les tufs trachytiques ou basaltiques, dans certains filons de chalcopyrite, dans certaines alluvions.

On la rencontre à Bodenmais (Bavière), dans le Groënland à Ujordlersoak; à Arendal, en Norvège; à Tunaberg, en Suède; en Finlande; dans des alluvions de Ceylan, etc.

Épidote. — Silicate hydraté de fer, d'alumine et de chaux $4CaO,3(Al,Fe)^2O^3,6SiO^2+H^2O$.

Ordinairement vert-bouteille ou vert-pistache (pistazite), elle peut être aussi jaune, brune ou noire. Éclat vitreux inclinant au perlé ou au résineux. Poussière grise.

Dureté, 6 à 7. Densité, 3,32 à 3,5.

Elle cristallise dans le système clinorhombique. Clivage parfait suivant la base, imparfait suivant l'orthopinacoïde.

Elle est fortement polychroïque, vert-émeraude parallèlement à la base, jaune normalement à un hémiorthodôme. A travers une lame parallèle à la base ou normalement à un axe optique, on observe le phénomène des *houppes*, sortes d'hyperboles obscures de coloration roussâtre.

L'épidote donne de l'eau au tube fermé et se gonfle à la flamme du chalumeau.

E. cristallisée. — En cristaux clinorhombiques allongés suivant l'orthodiagonale et portant dans cette direction les faces de base, celles de l'orthopinacoïde et d'hémiorthodômes. Ils sont souvent terminés par le biseau des faces d'une hémiprotopyramide (pl. XVII, fig. 15, 16, 17). Les faces du prisme primitif sont généralement très atténuées. Cette espèce a une grande tendance à la macle.

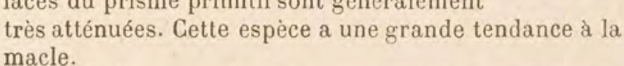


Fig. 127. Épidote.

E. bacillaire. — En baguettes parallèlement groupées, terminées par une face plane brillante qui aide à les reconnaître (pl. XVII, fig. 18).

E. granulaire. — En masses jaune verdâtre à cassure raboteuse.

E. compacte.

Cette espèce appartient en général aux terrains de cristallisation, granitiques, schisteux ou métamorphiques. Les beaux échantillons viennent du Bourg-d'Oisans (Isère), des environs de Barèges (Pyrénées), d'Ala,

de Traverselle, de Saint-Marcel (Piémont), des monts Ilmen et de l'Oural.

Les variétés colorées ont reçu divers noms, comme, par exemple, la *pistazite*, d'un vert pistache (pl. XVII, fig. 19).

Prehnite. — Silicate hydraté d'alumine et de chaux $2CaO,Al^2O^3,3SiO^2,H^2O$.

Vert-d'asperge, vert-pomme, vert pâle passant au blanc ou au gris, à éclat vitreux ou perlé. Dureté, 6 à 6,5. Densité, 2,8 à 2,95.

Cristallise dans le système orthorhombique.

Fond au chalumeau avec boursouflement.

Prehnite cristallisée. — En lames rectangulaires hexagonales ou rhomboïdales.

C. mamelonnée. — En tubercules à texture fibreuse (pl. XVI, fig. 20); on la réunit parfois aux zéolites.

On la trouve à Bourg-d'Oisans (Isère); aux Pyrénées, à Saint-Sauveur, à Luz, Baigorry; en Suède, à Falun; à Fassa (Tyrol), aux îles Feroë, à New-Jersey, etc.

On la rencontre dans la protogyne, les roches qui en dépendent et dans les amygdaloïdes.

PLANCHE XVII

1. **Tourmaline.** — En prisme trigonal terminé par le rhomboèdre fondamental. — Bamle (Norvège).

2 et 3. **Tourmaline.** — Tricolore, vert noirâtre à la partie inférieure, vert clair au milieu, incolore à la partie supérieure des cristaux. Ceux-ci sont des prismes trigonaux striés longitudinalement et terminés par les faces d'un rhomboèdre si surbaissé qu'il est à peine visible sur la figure. La gangue de 2 est constituée d'un mélange de quartz grisâtre et de feldspath rosé cristallisés.

4. **Rubellite.** — Tourmaline rose en longs prismes divergents fracturés, dans une roche cristalline riche en lépidolite. — San-Diego (Californie).

5. **Tourmaline** noire, en faisceaux de fibres divergentes inclus dans un granite graphique. — Forêt Noire.

6. **Tourmaline** noire. — Dans un talcschiste. — Mähren.

7. **Tourmaline** noire. — En inclusions de petits cristaux avec quartz grisâtre dans un granite. — Environs de Kinzig (Forêt Noire).

8. **Idocrase.** — Silicate d'alumine, de fer et de chaux, de composition très complexe. — On constate sur ce cristal isolé la présence des deux prismes quadratiques verticaux direct et inverse et une pyramide terminale. — Wisluifluss (Sibérie).

9. **Idocrase** vert-pistache. — En cristaux prismatiques basés modifiés par un octaèdre. — Ala (Piémont).

10. **Idocrase.** — Cristaux en prismes quadratiques basés dont quelques-uns sont modifiés par le prisme inverse. — Ecker (Norvège).

11. **Idocrase.** — Variété dite « Égérane », de couleur brunâtre, en masses bacillaires de fibres divergentes. — Haslau, près d'Eger (Bohême).

12. **Cordiérite.** — Silicate complexe d'alumine, de fer et de magnésie. Prismes orthorhombiques dans un granite. — Auvergne.

13. **Cordiérite** massive. — Montrant la cassure irrégulièrement conchoïdale. On peut remarquer sur la figure les teintes différentes, variant du jaunâtre au bleuâtre, dues au polychroïsme. — Tewedestrand (Norvège).

14. **Cordiérite** gris-bleu sombre. — Avec feldspath, quartz et grenat dans un gneiss. — Bodenmais.

15. **Epidote.** — Silicate hydraté d'alumine, de fer et de chaux de constitution très variable. Cristaux clinorhombiques vert noirâtre à vif éclat vitreux. Ils sont allongés suivant la clinodiagonale, de sorte que les faces du prisme fondamental sont celles qui forment à l'extrémité une sorte de toit. Les cannelures longitudinales sont constituées de nombreux clinodômes. Les houppes de cristaux aciculaires vert clair sont de l'asbeste. — Knappenwand (Pinzgau).

16 et 17. **Épidote** vert noirâtre. — En cristaux brisés, cicatrisés par une substance de même nature. — Knappenwand (Pinzgau).

18. **Epidote.** — En tiges bacillaires groupées, vert noirâtre. — Dauphiné.

19. **Epidote** vert jaunâtre (variété Pistazite). — En veinules dans un granite. — Suède.

20. **Prehnite.** — Silicate hydraté d'alumine et de chaux que l'on place parfois dans le groupe des zéolites. Association d'individus orthorhombiques tabulaires, translucides sur les bords, agglomérés en rognons botryoïdes vert-pomme. — Paterson (New-Jersey).



1. **Tourmaline.** *Borosilicate fluorifère d'alumine, de magnésie, de fer et d'alcalis. Prisme ditrigonal modifié. 2 et 3.* **Tourmaline** *en prismes tricolores. 4.* **Rubellite.** *Variété rose de Tourmaline. 5 et 6.* **Tourmaline** *noire cristallisée. 7.* **Tourmaline** *dans une roche. 8.* **Idocrase.** *Silicate hydraté de fer, d'alumine, de magnésie et de chaux. 9.* **Idocrase.** *Cristaux vert olive. 10.* **Idocrase.** *Cristaux bruns. 11.* **Idocrase** *brune massive. 12.* **Cordiérite.** *Silicate complexe d'alumine, de fer et de magnésie cristallisé. 13.* **Cordiérite** *massive. 14.* **Cordiérite** *dans une roche. 15. 16 et 17.* **Epidote.** *Silicate hydraté d'alumine, de fer et de chaux hydraté. 18.* **Epidote** *bacillaire. 19.* **Epidote** *verte en inclusions. 20.* **Prehnite.** *Silicate hydraté d'alumine et de chaux cristallisé.*

SILICATES (Suite).

Grenats. — Ce sont des silicates de protoxydes et de sesquioxydes répondant à la formule

$$3RO,R'^2O^3,3SiO^2,$$

dans laquelle RO représente la chaux, la magnésie, le protoxyde de fer ou le protoxyde de manganèse, et R'^2O^3 l'alumine, le sesquioxyde de fer et le sesquioxyde de chrome.

Toutefois il existe tous les passages au point de vue chimique d'une espèce à l'autre, et il est quelquefois presque impossible de distinguer, sans une analyse chimique, l'espèce à laquelle appartient un échantillon donné.

Les grenats sont des substances à cassure conchoïdale généralement fusibles, sauf l'ouwarowite, et donnant alors un globule vitreux.

Leur dureté varie de 6,5 à 7,5, et leur densité de 3,5 à 4,5. Ils peuvent être colorés en rouge, en brun, en jaune, en vert ou en noir; les grenats blancs et incolores sont très rares. D'ailleurs, les couleurs ne correspondent pas à la composition chimique, sauf dans l'ouwarowite et le mélanite.

Ils sont tous cristallisés, au moins en apparence, dans le système cubique. Leur forme générale est le dodécaèdre rhomboïdal ou le trapèzoèdre; le cube, l'octaèdre et l'hexoctaèdre ne se présentent qu'en modifications.

Les principaux *grenats* sont : le *grenat commun* ou *almandin,* aluminoferreux; le *grenat grossulaire* ou *essonite,* aluminocalcaire; le *grenat mélanite,* ferrocalcique; le *grenat pyrope,* aluminomagnésien; le grenat *ouwarowite,* chromicocalcique.

Gr. almandin. — Généralement d'un rouge foncé nuancé de violet, de bleu et de jaune. Quand il est transparent et d'une couleur agréable à l'œil, il porte encore les noms de grenat noble, syrien ou oriental. Les autres variétés constituent le grenat commun. La forme dominante est tantôt le dodécaèdre, tantôt le trapézoèdre.

Gr. essonite. — Sa couleur varie du rouge jaunâtre au jaune-de-miel (pl. XVIII, fig. 4 et 5).

Gr. mélanite. — De couleur noire (pl. XVIII, fig. 11), en dodécaèdres rhomboïdaux ou en trapézoèdres très nets.

Gr. pyrope. — Riche en magnésie et contenant du protoxyde de fer et du protoxyde de chrome; rouge-de-sang, rouge-hyacinthe, rouge-coquelicot, rouge-de-feu par transparence. Il présente rarement des formes distinctes. Disséminé en grains dans les serpentines ou dans les alluvions.

Gr. ouwarowite. — Chromicocalcaire, d'un beau vert-émeraude, infusible, ordinairement en dodécaèdres rhomboïdaux.

Les variétés de couleur ont reçu des noms particuliers.

Les grenats se rencontrent dans les granites, les gneiss, les talcschistes, les micaschistes, les serpentines, les calcaires secondaires métamorphiques et dans certains filons métallifères, plus rarement dans les roches trachytiques et basaltiques et les déjections volcaniques modernes.

Les grenats les plus estimés proviennent de Ceylan, du Groënland et du Brésil; le grenat commun, d'Arendal, en Suède; de Konsberg, en Norvège; du Zillerthal, des îles Shetland; le grenat vert, de Schwarzenberg, en Saxe. Le mélanite se rencontre dans les laves du Vésuve; l'ouwarowite, à Bissersk, en Russie.

Les grenats nobles sont les plus estimés dans le commerce des pierres précieuses et peuvent atteindre des prix assez élevés. Les anciens connaissaient ce minéral et lui avaient donné les noms rappelant son éclat : *pyropos, anthrax, carbunculus, hyacinthe.*

PLANCHE XVIII

1. **Grenat** commun (silicate d'alumine, de fer et de chaux). — En dodécaèdres rhomboïdaux, translucide sur les bords. Dans un chloritoschiste. — Pfitschtaler (Tyrol).

2. **Grenat.** — Cristal engagé dans un schiste chloriteux à biotite. — Tyrol.

3. **Grenat** rouge sombre. — En cristaux parfaits paraissant noirs à la lumière incidente, engagés dans un schiste amphibolique vert noirâtre. — Konsberg.

4. **Grossulaire.** — Grenat rouge-hyacinthe en dodécaèdres rhomboïdaux modifiés par un icositétraèdre, avec ripidolite en lamelles empilées. — Alpes de Mussa (Piémont).

5. **Grossulaire.** — Groupe de cristaux de même provenance.

6. **Grenat** almandin rouge en fragment montrant la cassure inégale. — Afrique occidentale.

7. **Grenat** taillé en cabochon.

8. **Grenat** brun grisâtre. — Dans un calcaire cristallin. — Hongrie.

9. **Grenat** commun. — Dans un micaschiste quartzeux. — Vallée de Trémola (Saint-Gothard).

10. **Ouwarowite.** — Grenat chromifère en petits cristaux sur une roche. — Biserst (Oural).

11. **Mélanite.** — Grenat noir titanifère en dodécaèdres rhomboïdaux. — Frascati.

12. **Grenat** en inclusion dans un rognon de chlorite schisteuse brisé. — Fahlun (Suède).

13. **Grenat** en petits cristaux dans un micaschiste. — Fichtelberg (Erzgebirge).

14. **Éclogite.** — Roche composée de grenat rose et d'augite, translucide, passant du vert foncé au vert clair (omphazite). — Fichtelgebirge.

15. **Éclogite.** — Même roche finement grenue et riche en grenat.



1. 2. 3. **Grenat almandin.** *Silicate d'alumine et de protoxyde de fer. Cristaux de teintes diverses. 4 et 5.* **Grenat grossulaire.** *Silicate d'alumine et de chaux cristallisé. 6.* **Grenat almandin** *massif. 7.* **Grenat almandin** *taillé. 8 et 9.* **Grenat almandin** *sur des roches. 10.* **Grenat Ouwarowite.** *Silicate de chrome et de chaux cristallisé, vert. 11.* **Grenat Mélanite.** *Silicate de sesquioxyde de fer et de chaux. 12.* **Grenat almandin** *dans un nodule de Chlorite. 13.* **Schiste micacé granatifère.** *14 et 15. Echantillons d'***Eclogite** *montrant le grenat constitutif de cette roche.*

SILICATES (Suite).

Zoïsite. — Silicate hydraté d'alumine et de chaux $4CaO,2Al^2O^3,6SiO^2,H^2O$. Minéral très voisin, comme composition et comme propriétés, de l'épidote, avec laquelle on l'a souvent confondue. C'est une épidote blanche exempte de fer.

Blanchâtre, grise, jaunâtre, brune, rose, gris verdâtre, à éclat vitreux, nacré sur le clivage.

Dureté, 6. Densité, de 3,22 à 3,36.

Cristallise comme l'épidote dans le système clinorhombique. Clivage parfait suivant le clinopinacoïde. Au chalumeau se gonfle en bouillonnant.

Z. cylindroïde et bacillaire. — Prismes accolés, allongés perpendiculairement à l'axe du prisme rectangulaire oblique formés de deux pinacoïdes (pl. XIX, fig. 1).

On la rencontre dans les granites, les gneiss, les micaschistes, les schistes amphiboliques, en Carinthie, à Konsberg (Norvège), en Bohême, dans le Fichtelgebirge, près de Sterzing, de Prégatten ; au Pfitschthal dans le Tyrol et dans les Alpes de Mussa, en Piémont.

C'est un satellite fréquent des gîtes d'éclogite.

Scapolite. — Silicate d'alumine et de chaux avec un peu de magnésie, de potasse et de soude; sa formule est variable. Elle est blanchâtre, verdâtre, rougeâtre ou grisâtre. Éclat vitreux.

Dureté, de 5 à 6. Densité, de 2,63 à 2,79.

Cristallise dans le système quadratique.

Blanchit et fond au chalumeau en colorant la flamme en jaune.

Sc. cristallisée. — En prismes quadratiques quelquefois volumineux sans terminaison nette ou terminés par un octaèdre (pl. XIX, fig. 2).

On rencontre cette substance dans les gîtes métallifères de fer et de cuivre traversant les roches anciennes et les calcaires voisins à Arendal et Langsoë (Norvège); à Pargas, en Finlande; à Freiberg en Saxe. à Franklin, dans le New-Jersey; à Warwich, dans l'Amérique du Sud.

Gehlénite. — Silicate d'alumine et de chaux contenant ordinairement du fer $3CaO,(AlFe)^2O^3,2SiO^2$. Grisâtre ou verdâtre, à éclat vitreux inclinant au résineux, jamais brillante.

Dureté 5,5 à 6. Densité, 2,95 à 3.

Cristallise dans le système quadratique.

Un seul clivage facile suivant la base. Cassure inégale et esquilleuse, opaque ou faiblement translucide. Elle fond difficilement au chalumeau lorsqu'elle est réduite en esquilles minces.

Ordinairement cristallisée en prismes quadratiques terminés par la base et portant de légères modifications sur les arêtes et sur les angles (pl. XIX, fig. 3).

C'est un silicate de métamorphisme rencontré au mont Monzoni, vallée de Fassa (Tyrol), dans un calcaire cristallin grenu.

Wollastonite. — Silicate de chaux anhydre $CaSiO^3$. Incolore, blanche, grise, jaunâtre, rougeâtre ou brune. Éclat vitreux, un peu nacré sur les faces de clivage facile. Poussière blanche.

Dureté, 4,5 à 5. Densité, de 2,78 à 2,91.

Clivages faciles suivant la base et un hémiorthodôme.

Elle cristallise dans le système clinorhombique. Cassure inégale, translucide, fond difficilement en un verre blanc.

Rarement en cristaux monocliniques tabulaires, présentant de nombreuses modifications sur les arêtes et sur les angles, le plus souvent en masses formées de fibres parallèles ou radiées et divergentes (pl. XIX, fig. 4).

La wollastonite est à la fois un minéral de métamorphisme et un élément accessoire des déjections volcaniques.

On la rencontre au Kaiserstuhl, à Auerbach (Saxe), à Pargas (Finlande), à Konsberg (Norvège), à Castle-Rock, près d'Edimbourg, dans les laves anciennes de Capo-di-Bove, près de Rome, à la Somma, etc.

Ilvaïte ou **Liévrite.** — Silicate hydraté de fer et de chaux, dans lequel le fer est en partie à l'état de sesquioxyde, $2CaO,4FeO,Fe^2O^3,4SiO^2,H^2O$.

Noir brunâtre, noir-de-velours, noir-de-fer ou de-poix, à éclat métallique faible, à poussière noire et à cassure résineuse. Dureté, 5,5 à 6. Densité, 3,8 à 4,1.

Elle cristallise dans le système orthorhombique. Fusible au chalumeau, magnétique.

I. cristallisée. — En prismes orthorhombiques quelquefois modifiés par un macroprisme et terminés par une protopyramide et un macrodôme (pl. XIX, fig. 5).

I. bacillaire. — Prismes orthorhombiques plus ou moins altérés, réunis en faisceaux divergents.

I. fibreuse. — Masses composées de fibres divergentes ou entrelacées.

L'ilvaïte est souvent associée à l'amphibole dans les gîtes ferrifères en contact avec les roches éruptives.

On l'a rencontrée en divers points de l'île d'Elbe, au mont Fico, à Rio-di-Marina, au cap Cœlanuta; en Toscane; en Saxe, à Zschorlau et à Schneeberg; en Silésie, à Kupferberg; à Skeen et à Fossum, en Norvège; à Herborn (Nassau), à Philipstadt (Suède), au Groënland, à Rhode-Island (États-Unis).

Péridot. — Silicate de magnésie et de fer $2(MgFe)O,SiO^2$.

Vert-olive, verdâtre, vert jaunâtre, quelquefois brun

ou noir, rarement blanc, à éclat vitreux, à poussière incolore.

Dureté, 6 à 7, rayant fortement le verre et presque le quartz. Densité, 3,3 à 3,45.

Cristallise dans le système orthorhombique.

Clivage facile, suivant le brachypinacoïde; cassure conchoïdale, transparent ou translucide.

Infusible, inattaquable aux acides.

P. cristallisé. — En prismes rectangulaires formés des deux pinacoïdes, modifiés sur les arêtes latérales, les arêtes basiques et les angles solides.

P. granuliforme. — En petits dépôts irréguliers ou en cristaux déformés dans les roches.

P. granulaire. — En masses à structure granulaire ou lamellaire (pl. XIX, fig. 6).

On nomme *chrysolite* ou *péridot noble* les variétés limpides vert jaunâtre propres à la taille (pl. XIX, fig. 7).

Le péridot est spécial aux roches basaltiques et aux roches éruptives modernes. On ne le rencontre pas dans les roches primitives ni dans les trachytes. Ses gîtes ordinaires sont les basaltes, les mélaphyres et les gabbros. Il existe dans de nombreuses météorites.

Les beaux échantillons viennent des environs de Constantinople, du Vésuve, de l'île Bourbon, de Real-de-Monte (Mexico), des sables d'Expailly, en Auvergne; de Styrie et de l'Oural.

Quand le péridot est en cristaux limpides et assez volumineux, il est employé en joaillerie et taillé en facettes. Autrefois peu estimée, cette pierre revient à la mode et peut acquérir des prix élevés.

Amphigène ou **Leucite.** — Silicate d'alumine et de potasse $K^2O,Al^2O^3,4SiO^2$.

Ordinairement blanc, il peut être gris, jaunâtre, verdâtre ou rouge. Éclat vitreux inclinant parfois au résineux, poussière blanche.

Dureté, 5,5 à 6. Densité, 2,4 à 2,5.

Il cristallise en apparence dans le système cubique. Translucide, cassure conchoïdale.

Considéré longtemps comme cubique, l'étude approfondie de ses propriétés physiques a conduit à l'envisager comme quadratique, orthorhombique ou même triclinique. La forme extérieure est très voisine du trapézoèdre, mais les angles diffèrent un peu. Toutefois, chauffé à 265°, l'amphigène n'agit plus sur la lumière polarisée et doit être considéré par suite comme cubique.

Il est infusible au chalumeau.

A. cristallisé. — En trapézoèdre (pl. XIX, fig. 8 et 9).

A. granulaire. — En grains arrondis et déformés dans les roches.

Les cristaux d'amphigène sont rudes et comme crevassés, et se transforment en une espèce de kaolin, tout en conservant leur forme.

Ce minéral se rencontre dans les roches basaltiques, les laves modernes et les laves anciennes. Les principales provenances sont : le Vésuve, la Somma, Capo-di-Bove, Frascati, Tivoli, Albano, Rieden, sur les bords du Rhin, le Kaiserstuhl, etc.

Néphéline. — Silicate d'alumine, de potasse et de soude $(KNa)^2O,Al^2O^3,2SiO^2$. Les cristaux sont incolores, blancs ou jaunâtres. En masse elle peut être rouge-brique, jaune ou verdâtre.

Éclat vitreux, gras ou résineux dans la variété *éléolite*. Cassure vitreuse et conchoïdale.

Elle cristallise dans le système hexagonal.

Au chalumeau elle fond difficilement en un verre bulleux.

N. cristallisée. — En prismes hexagonaux simples à peu près aussi longs que larges, souvent modifiés sur les arêtes basiques, les arêtes latérales et sur les angles.

N. lamellaire. — En masses fendillées.

N. compacte (variété *éléolite*). — Vitreuse, à éclat gras, verdâtre, rougeâtre ou brune (pl. XIX, fig. 10).

La néphéline est particulière aux roches d'origine ignée et à quelques roches métamorphiques.

On la rencontre au Vésuve, à la Somma, à Capo-di-Bove, près de Rome, en Hesse, en Bohême, en Saxe, près du Puy (Haute-Loire), à Katzenbuckel, près de Heidelberg.

L'éléolite vient de Brevig et de Stavern, en Norvège, des monts Ilmen, de l'Arkansas, etc. C'est un élément essentiel de beaucoup de roches éruptives, où elle est associée à la leucite.

Haüyne. — Silicosulfate d'alumine, de chaux et de soude $2[(Na^2Ca)O,Al^2O^3,2SiO^2]+(Na^2Ca)SO^4$.

Ordinairement bleu-de-ciel plus ou moins foncé, plus rarement vert-d'asperge, grise, brune ou jaunâtre. La coloration bleue est attribuée à un peu de sulfure de sodium. Éclat vitreux inclinant à l'éclat gras, poussière blanc bleuâtre. Dureté, 5 à 5,5. Densité, 2,4 à 2,5. Cristallise dans le système cubique.

Clivage suivant les faces du dodécaèdre en général peu distinct, cassure plane, conchoïdale ou inégale. Décrépite au chalumeau, puis fond doucement en un émail blanc ou gris verdâtre.

H. cristallisée. — En dodécaèdres, en cubes modifiés par les faces du dodécaèdre, en octaèdres modifiés par les faces du dodécaèdre (pl. XIX, fig. 11).

H. granulaire. — En inclusions dans les roches.

Ce minéral se rencontre dans les roches volcaniques, laves, trachytes et basaltes.

On la trouve à Marino, près de Rome; au mont Vultur, aux environs de Naples; à Niedermandig et Anderneut sur les bords du Rhin; au mont Dore, dans le Cantal, etc.

Lapis-lazuli, Outremer. — Silicosulfate chloré d'alumine, de chaux et de soude avec un peu de sesquioxyde de fer, sans formule définie.

Bleu foncé ou bleu d'azur. Éclat vitreux. Translucide ou opaque.

Dureté, 5,5. Densité, 2,38 à 2,45.

Cristallise dans le système cubique.

Cassure inégale. Fond au chalumeau en un verre blanc.

L. cristallisé. — Très rare en cristaux, qui sont des dodécaèdres rhomboïdaux simples ou modifiés sur les arêtes ou sur les angles.

L. lamellaire ou compact. — Il renferme ordinairement de la pyrite et souvent de la calcite (pl. XIX, fig. 12 et 13).

En cristaux, en veines et en inclusions dans les terrains de cristallisation, surtout au milieu de calcaires grenus et micacés. C'est le *saphir* des anciens.

Les beaux échantillons viennent de l'Orient; de la petite Bucharie, de la Tartarie, du Thibet et de la Chine. On en trouve en Sibérie, au lac Baïkal et au Chili, sur les bords de l'Indus.

En joaillerie le lapis est employé à la confection de menus objets, de pendeloques, etc. C'est une pierre estimée. Broyé convenablement, il est employé en pein-

ture pour la fabrication du bleu d'outremer. Selon la tradition, les tables de la Loi mosaïque étaient en lapis.

Helvine. — Silicosulfure de fer, de glucinium et de manganèse de formule douteuse. Jaune, jaune-de-miel brun ou vert, éclat résineux. C'est un minéral très rare.

Dureté, 6. Densité, 3,2 à 3,7.

Cristallise dans le système cubique avec hémiédrie tétraédrique (à faces inclinées), ordinairement en tétraèdres réguliers (pl. XIX, fig. 14).

On la rencontre associée au grenat, à la chlorite, à la blende et à la limonite à Bergmansgrün, près de Swarzemberg, à Breitenbrunn en Saxe, à Modum en Norvège.

Dioptase. — Silicate hydraté de cuivre CuO,SiO^2,H^2O, vert-émeraude, vert-de-gris, éclat vitreux. Poussière verte. Transparence très biréfringente.

Dureté, 5. Densité, 3,27 à 3,35.

Cristallise dans le système rhomboédrique avec hémiédrie centrée. Cassure conchoïdale et inégale. Fragile.

Au chalumeau noircit sans fondre au feu oxydant; au feu réducteur devient rouge (oxydule de cuivre).

D. cristalline. — En rhomboèdres modifiés par les faces du prisme inverse et un rhomboèdre non orienté constitué par la moitié des faces d'un hémiscalénoèdre.

D. compacte.

Ce superbe minéral est très rare; on le rencontre en Sibérie à Altyn-Tübé (steppes des Kirghyses), entre Oberlahnstein et Braubach dans le duché de Nassau, et dans la Nouvelle-Zélande.

PLANCHE XIX

1. **Zoïsite.** — Silicate d'alumine et de chaux. Prismes orthorhombiques grisâtres striés longitudinalement et engagés dans du quartz. Satellite fréquent des gîtes d'éclogite du Fichtelgebirge. — Weissenstein.

2. **Scapolite.** — Silicate d'alumine et de chaux contenant des proportions variables de soude. En prismes quadratiques grisâtres; les faces de la pyramide terminale sont seulement indiquées. — Pargas (Finlande).

3. **Gehlénite.** — Silicate d'alumine et de chaux ordinairement ferrifère. Association de prismes quadratiques basés. — Fassathal (Tyrol).

4. **Wollastonite.** — Silicate de chaux. Cristaux blancs orthorhombiques groupés en masses bacillaires divergentes à éclat soyeux. Satellite ordinaire des calcaires métamorphiques avec grenat, augite, calcite, etc. — Auerbach (Odenwald).

5. **Ilvaïte.** — Silicate ferreux et ferrique avec un peu de chaux et d'eau. — Cristal orthorhombique portant le macro et le brachypinacoïde et un dôme. — Ile d'Elbe.

6. **Péridot.** — Silicate d'oxyde ferreux et de magnésie. Groupe de cristaux orthorhombiques vert-olive, transparents, à éclat vitreux vif, à cassure inégale, en inclusions dans un basalte. — Rhône.

7. **Péridot noble** ou **Chrysolite,** taillé.

8. **Leucite.** — Silicate d'alumine et d'alcalis, icositétraèdre isolé, vitreux, blanc grisâtre.

9. **Leucite.** — En icositétraèdres blanc grisâtre, opaques dans une lave. — Vésuve, monte Somma.

10. **Néphéline.** — Silicate d'alumine et de soude compact en masses grisâtres, éclat nébuleux. Dans une syénite. — Magnet Cove (Arkansas).

11. **Haüyne.** — Sulfosilicate d'alumine, de chaux et de soude de couleur bleu-d'azur, en cubes et en dodécaèdres réguliers dans une lave basaltique. — Niedermandig.

12. **Lapis-lazuli.** — D'un beau bleu-d'azur, rehaussé d'inclusions de pyrite brillante, jaune-d'or, en plaque polie. — De provenance orientale.

13. **Lapis-lazuli** avec mouches de pyrite, taillé en pendant d'oreille.

14. **Helvine.** — Sulfosilicate de fer, de glucine et de manganèse, en tétraèdres cubiques jaunes légèrement verdâtres. — Breitenbrunn (Saxe).

15. **Dioptase.** — Silicate hydraté de cuivre en cristaux rhomboédriques hémièdres, portant le prisme hexagonal surmonté d'un rhomboèdre, d'un magnifique vert-émeraude (mal venu à l'impression). — Sibérie.



1. **Zoïsite.** *Silicate hydraté d'alumine et de chaux cristallisé. 2.* **Scapolite.** *Silicate d'alumine et de chaux sodifère cristallisé. 3.* **Gehlénite.** *Silicate d'alumine et de chaux cristallisé. 4.* **Wollastonite.** *Silicate de chaux. Masse à texture aciculaire. 5.* **Ilvaïte.** *Silicate hydraté de fer et de chaux cristallisé. 6.* **Péridot.** *Silicate de fer et de magnésie cristallisé. 7.* **Péridot** *taillé. 8 et 9.* **Leucite.** *Silicate d'alumine et d'alcalis cristallisé. 10.* **Néphéline.** *Silicate d'alumine et de soude en inclusions à éclat gras dans une roche. 11.* **Haüyne.** *Silicosulfate d'alumine, de chaux et de soude (bleu) dans une roche. 12.* **Lapis-Lazuli.** *Silicosulfate d'alumine et de soude bleu. 13.* **Lapis lazuli** *taillé. 14.* **Helvine.** *Sulfosilicate de fer, de glucine et de manganèse jaune cristallisé. 15.* **Dioptase.** *Silicate hydraté de cuivre. Cristaux verts.*

SILICATES (Suite).

FELDSPATHS

Orthose. — Silicate double d'alumine et de potasse $K^2O,Al^2O^3,6SiO^2$. Pur, il est incolore et hyalin, mais il est souvent blanc, rose, vert clair et vert foncé, par suite de son mélange à d'autres minéraux.

Dureté, 6. Densité, 2,42 à 2,62.

Il cristallise dans le système clinorhombique, et c'est le seul feldspath qui appartienne à ce système. Il présente deux clivages faciles rectangulaires, l'un parallèlement à la base, l'autre au clinopinacoïde (pl. XX, fig. 7). Cette particularité le distingue du microcline et lui a valu le nom d'*orthoclase*, qui lui est parfois donné. Il est transparent ou translucide, à éclat vitreux, souvent nacré sur la base.

Il fond au chalumeau en un verre bulleux et résiste à tous les acides, sauf l'acide fluorhydrique.

Ce minéral est l'un des plus importants par son abondance dans la nature et son rôle prépondérant dans la constitution des roches primitives.

O. cristallisé. — Les cristaux dérivent d'un prisme clinorhombique de 118° 48′. La base est inclinée sur l'arête verticale antérieure du prisme de 116° 7′. On rencontre ordinairement sur les individus isolés les faces du prisme, la base, un hémiorthodôme postérieur et le clinopinacoïde.

Les figures 128 et 129 ci-contre, les figures 1, 2, 3, 8 de la pl. XX, montrent les formes les plus fréquentes. Souvent les cristaux sont allongés suivant la clinodiagonale.

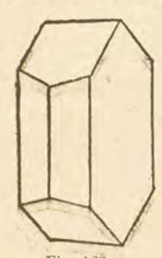


Fig. 128. Fig. 129.

O. maclé. — Les cristaux sont souvent réunis deux à deux, suivant plusieurs lois de macles.

1° Macle dite de Mannebach ou de Four-la-Brouque (fig. 130) : deux cristaux sont accolés par la base, l'un ayant tourné par rapport à l'autre de 180° autour d'une normale à cette face. Cette macle est représentée théoriquement par la figure 76, p. 26.

2° La macle de Carlsbad (pl. XX, fig. 5) s'explique aussi d'une manière simple. De deux cristaux primitivement parallèles, l'un a tourné par rapport à l'autre de 180° autour d'une parallèle aux faces du prisme vertical sur la figure, puis ils se sont pénétrés en partie. La figure 80, p. 26, représente la génération théorique.

3° Dans la macle de Baveno, deux cristaux se pénètrent, ayant en commun une face de clinodôme, l'un

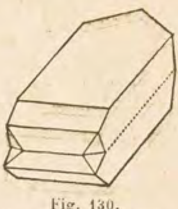


Fig. 130. Macle de Mannebach.



Fig. 131. Macle de Baveno.

d'eux ayant tourné par rapport à l'autre de 180° autour de la normale à cette face (fig. 131 et pl. XX, fig. 6).

O. laminaire. — En masses se divisant par les clivages rectangulaires en plaques plus ou moins épaisses.

O. compact. — A cassure inclinant au saccharoïde.

O. lamellaire. — En masses à cassure présentant de grands et petits feuillets, opaque, translucide, blanc ou jaunâtre. C'est le *petunzé* des Chinois, employé dans la fabrication de la porcelaine.

O. chloriteux. — Coloré en vert par des inclusions de chlorite.

O. adulaire. — Limpide, en cristaux ordinairement simples, composés du prisme, de la base et quelquefois d'un hémiorthodôme (pl. XX, fig. 1 et 2).

O. opalisant. — A beaux reflets irisés dans les nuances bleues sur les faces de l'orthopinacoïde, et attribués à l'inclusion de fines lamelles d'albite.

O. aventuriné, pierre de soleil, aventurine orientale. — Pénétré de lamelles d'oligiste à reflets rouge-de-cuivre ou jaune-d'or. Employé en joaillerie.

O. chatoyant, pierre de lune. — A reflets d'un blanc nacré, sur fond bleuâtre. Employé en joaillerie.

O. sanidine. — Variété propre aux roches volcaniques. Cristaux généralement fendillés et à éclat nacré.

O. pegmatolite. — Variété commune rose chair ou blanc jaunâtre, des granites, des pegmatites, etc.

L'orthose appartient aux terrains de cristallisation. Il entre dans la constitution de nombreuses roches, les granites, les gneiss, les micaschistes, etc.

On rencontre les beaux cristaux à Carlsbad, à Ellenbogen, en Bavière ; dans l'Oural ; à Ékatérinembourg, en Sibérie ; à Arendal, en Norvège ; à Baveno, en Piémont ; au Saint-Gothard ; à Chamounix ; aux environs d'Autun, de Montbrison, de Saint-Pardoux, à Four-la-Brouque, etc.

L'orthose opalisant, la pierre de soleil et la pierre de lune sont employés en joaillerie.

Microcline. — Même composition chimique que l'orthose, mais triclinique.

Ce minéral a été souvent confondu avec l'orthose par suite de la similitude de leurs caractères extérieurs. Toutefois, les deux clivages suivant la base et le clinopinacoïde ne sont pas exactement rectangulaires, mais font un angle de 90° 14'. Cette quasi-identité de structure entraîne une analogie complète de formes et de groupements.

M. vert ou *Amazonite.* — Variété verte perdant sa couleur par la chaleur. On attribue sa coloration à un peu de cuivre (pl. XX, fig. 4 et 9).

On la rencontre dans les pegmatites, où elle abonde, en Sibérie au pied des monts Oural; dans le Colorado, à Pike's-Peak; à Perth, dans l'Ontario, etc.

Susceptible d'un beau poli, l'amazonite est quelquefois employée à la confection de menus objets.

Albite. — Silicate d'alumine et de soude. C'est un feldspath de soude $Na^2O,Al^2O^3,6SiO^2$. Presque toujours blanche, quelquefois jaunâtre, verdâtre ou rougeâtre, à éclat vitreux, nacré sur la base.

Dureté, 6 à 6,5; densité, 2,5 à 2,6.

Elle cristallise dans le système triclinique.

Chauffée au chalumeau, elle fond difficilement sur les bords en un verre bulleux.

A. cristallisée. — En prismes modifiés sur les arêtes et les angles solides (pl. XX, fig. 10).

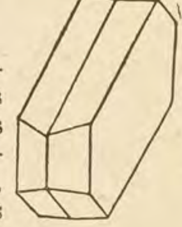
A. maclée. — Il y en a de plusieurs espèces; la plus fréquente est la macle en gouttière, dite de l'*albite,* dans laquelle de deux demi-cristaux détachés par un plan parallèle au brachypinacoïde l'un a tourné de 180° (fig. 77, p. 26) par rapport à l'autre; il en résulte une pseudosymétrie clinorhombique, et les cristaux ont acquis ainsi un plan de symétrie, mais ils présentent un angle rentrant, ou *gouttière* de l'albite (fig. 132).

Dans la variété péricline, le plan sécant de jonction n'est pas tout à fait parallèle au brachypinacoïde. Cette dernière macle est visible sur le cristal de gauche du groupement représenté pl. XX, fig. 10.

A. laminaire. — Masses divisibles en plaques plus ou moins épaisses, souvent courbes.

A. saccharoïde.

A. compacte.


Fig. 132. Gouttière de l'albite.

On rencontre l'albite dans les terrains de cristallisation. Elle tapisse les fentes de la protogyne ou des roches qui en dépendent. On la rencontre encore dans les pegmatites, les granites, les trachytes, les basaltes et les laves modernes.

Les principales provenances sont : le Bourg-d'Oisans (Dauphiné); Brodbo, près de Fahlun (Suède); l'île de Candie, Ceylan, le mont Dore, la Hongrie, le Vésuve, la campagne de Rome, l'Etna, etc.

Labrador. — Silicate d'alumine de chaux et de soude $(Na^2,Ca)O,Al^2O^3,3SiO^2$. Appartient au groupe des feldspaths. Il peut être blanc, grisâtre, gris, bleuâtre ou verdâtre. Eclat vitreux, cassure esquilleuse.

Cristallise dans le système triclinique.

Clivage facile suivant la base, moins facile parallèlement au clinopinacoïde, fond difficilement au chalumeau en un verre bulleux. Ce minéral est remarquable par les reflets vifs et changeants, bleus, rouges, verts, etc., qu'il présente sur les faces du clinopinacoïde (pl. XX, fig. 11, 12 et 13).

Ce feldspath appartient aux roches basiques, et c'est un des éléments constitutifs des hypérites, des diabases, des amphibolites, des dolérites, des labradorites, etc.

On a rencontré le labrador sur la côte de Labrador, en cailloux roulés, à Mille-Isles au Canada, dans le gisement d'origine, à Essex (New-York), à Mineral Hill (Pennsylvanie), etc.

Il est quelquefois employé en joaillerie.

PLANCHE XX

1. **Orthose.** — Feldspath de potasse, variété adulaire, en prismes clinorhombiques fondamentaux basés, striés. Avec fausse topaze (quartz jaune-brun). — Saint-Gothard.

2. **Orthose.** — En cristaux groupés de même forme que les précédents, mais altérés par une inclusion de chlorite gris verdâtre. — Findelengletscher.

3. **Orthose.** — En cristaux de couleur jaunâtre portant les faces du prisme, la base, un hémiorthodôme et le clinopinacoïde. Avec fausse topaze dans un granite. C'est le feldspath commun. — Striegau.

4. **Amazonite.** — Microcline couleur vert-de-gris. — El Paso (Colorado).

5. **Orthose.** — Macle de deux cristaux suivant la loi de Carlsbad, extrait d'un porphyre granitique. — Ellenbogen.

6. **Orthose.** — Macle suivant la loi de Baveno, de deux cristaux striés, avec groupe de cristaux de fausse topaze sur un granite. — Baveno.

7. **Orthose** commun en masse compacte, coloré par de la limonite. Sa structure interne est celle de la macle précédente. Ceci résulte de ce que les cristaux d'albite inclus dans deux directions différentes sont inclinés également sur la direction de suture de la macle. — Baveno.

9. **Amazonite** compacte pénétrée d'un réseau de veinules d'albite grisâtre. — Perth (Ontario).

10. **Albite.** — Feldspath d'alumine et de soude triclinique en prismes courts. La macle lui donne une pseudosymétrie orthorhombique. Cette macle est fréquente dans les feldspaths tricliniques. — Pfitstschal (Tyrol).

11. **Labrador.** — Feldspath d'alumine et de chaux sodifère, à reflets chatoyants. L'échantillon poli montre la structure en lames alternatives hémitropes des feldspaths tricliniques. — Labrador.

12. **Labrador** massif à texture esquilleuse montrant la fracture inégale. — Labrador.

13. **Labradorite** grenue, polie, avec plages de labrador vert chatoyant et veinules d'augite d'un noir verdâtre.



1. **Orthose** *adulaire. Silicate d'alumine et de potasse cristallisé. 2.* **Orthose.** *Cristaux groupés. 3.* **Orthose** *avec Quartz enfumé. 4.* **Amazonite.** *Variété verte de* **Microcline.** *Silicate d'alumine, de potasse et de soude. 5.* **Orthose.** *Macle de Carlsbad. 6.* **Orthose.** *Macle de Baveno avec Quartz enfumé. 7.* **Orthose** *commun jaunâtre avec inclusions d'Albite. 8.* **Orthose.** *Cristal rose chair avec cristal d'Albite. 9.* **Amazonite** *massive verte avec Albite (blanche). 10.* **Albite.** *Silicate d'alumine et de soude. Cristaux et macles. 11.* **Labrador.** *Silicate d'alumine et de chaux sodifère. Plaque polie. 12.* **Labrador** *massif. 13.* **Labradorite.** *Roche polie montrant le Labrador constitutif.*

SILICATES (Suite).

MICAS

Biotite. — Mica ferromagnésien. Silicate hydraté de potasse, de fer et d'alumine dont la composition chimique oscille entre les deux formules

$$(K,H)^2O,4(Mg,Fe)O,(Al,Fe)^2O^3,4SiO^2$$

et $$(K,H)^2O,2(MgFe)O,Al^2O^3,3SiO^2.$$

La couleur varie du vert au noir en passant par le brun et le brun-rouge. Les lames minces peuvent être, par transparence, vertes, jaunes ou brunes, rarement incolores. Dureté, 2,5 à 3. Densité, 3,7 à 4,1.

La biotite est clinorhombique, mais le prisme étant voisin de 120°, la présence des faces du clinopinacoïde lui donne une apparence hexagonale. Soumise à l'action de la chaleur, la biotite donne de l'eau et de l'acide fluorhydrique. Calcinée, elle blanchit, puis fond légèrement sur les bords. Cristaux courts formés de lames empilées, clivage parfait suivant la base.

On la rencontre dans les granites (pl. XXI, fig. 1, 2).

Provenances principales : monts Ilmen, Laacher-See, Vésuve, Frascati, Suède, Finlande, Silésie, Bavière, Vosges, New-Jersey, Canada, la vallée de Fassa (Tyrol), Schwarzenstein (Zillerthal), Rezbànya et Marawitza (Hongrie), etc.

Muscovite. — Mica potassique $K^2O,3Al^2O^3,6SiO^2, 2H^2O$.

Elle peut être incolore, grise, brun-châtain, brune, vert pâle, vert sombre, violette, rarement rose. C'est le plus répandu des micas et un élément essentiel des granites, des granulites, des pegmatites, des micaschistes; il est rare dans les produits volcaniques (pl. XXI, fig. 4, 5, 6, 7, 8).

Elle est clinorhombique et franchement biaxe, les axes optiques étant très écartés.

Les grandes lames viennent du New-Hampshire, des monts Ilmen, de la Sibérie, de l'Hindoustan, du Tyrol, de Suisse (Saint-Gothard, Binnenthal), d'Angleterre (Cornouaille), de Suède, de Norwège, de Sibérie, du Brésil, etc.

Lépidolite. — Mica lithinifère. C'est un silicate fluorifère hydraté complexe d'aluminium, de potassium et de lithium.

Il est blanc-d'argent, gris, rose, rose lilas, blanc ou gris violacé. Éclat nacré (pl. XXI, fig. 9).

Le lépidolite peut être en agrégats de prismes courts, en masses clivables, ou en masses granulaires rugueuses, âpres au toucher.

Humecté d'acide chlorhydrique, il colore la flamme en rouge pourpre (lithium).

On rencontre le lépidolite dans les filons d'étain avec fluorine, topaze, tourmaline et émeraude, tous minéraux fluorés.

Les plus belles variétés viennent de Rosena (Moravie), de Penig, Zinnwald et Chursdorf, en Saxe; des mines d'Utö, en Suède; de celles de Mursinsk, dans l'Oural; de Cornouaille, en Angleterre; de Chanteloube, près de Limoges; de l'île d'Elbe, etc.

SILICATES DIVERS

Chlorite. — Silicate hydraté d'alumine, de fer et de magnésie. On désigne sous ce nom plusieurs espèces de composition et de propriétés très voisines possédant, comme les micas, un clivage extrêmement facile suivant la base. Elles sont toutes clinorhombiques avec symétrie limite rhomboédrique. Leur dureté varie de 1 à 3, leur densité de 2,61 à 2,96. Leur couleur est le vert plus ou moins foncé (pl. XXI, fig. 10), elles sont grasses au toucher. Ce sont des substances intermédiaires entre les micas et le talc. Elles forment un élément essentiel des chloritoschistes.

On rencontre les différentes espèces de chlorite au Saint-Gothard; dans l'Oural, à Achinatosk; à Pfitsch et à Pfunderz, dans le Tyrol; à Ala, à Traverselle et à Brosso, en Piémont, etc.

Ottrélite. — De composition analogue à celle de la chlorite, mais contient une certaine quantité d'oxyde de manganèse. Prismes tabulaires ou écailles à structure micacée vert foncé, vert noirâtre ou noires. Dureté, 6. Dans les schistes des Ardennes, à Ottrez (Belgique) (pl. XXI, fig. 11).

Talc. — Silicate hydraté de magnésie $3MgO,4SiO^2, H^2O$. Blanc verdâtre, vert-poireau, blanc-d'argent, vert-de-mer, à éclat graisseux.

Dureté, 1. Densité, de 2,6 à 2,8. Éclat nacré.

Cristallise dans le système orthorhombique.

Talc cristallisé. — Ordinairement en masses composées de fines lamelles. Gras et onctueux au toucher.

Au chalumeau devient dur, s'exfolie et fond difficilement sur les bords (pl. XXI, fig. 12).

T. compact, en masses granulaires et terreuses.

T. pseudomorphique. — On trouve des cristaux de calcite et des cristaux de quartz ayant exactement conservé leur forme extérieure, mais complètement transformés en talc (pl. XXI, fig. 13).

La *pierre ollaire,* qui se laisse facilement tailler, est constituée de talc, de chlorite, de mica et d'amiante.

On rencontre le talc disséminé dans les chloritoschistes, les diorites, les serpentines, les dolomies, les

calcaires cristallins, dans les Alpes de Savoie, de la Suisse et en Piémont, à Greiner (Salzbourg), en Styrie, dans le New-Jersey, la Pennsylvanie, etc.

Pyrophyllite. — Silicate hydraté d'alumine. Elle ne diffère chimiquement du talc que par la substitution de l'alumine à la magnésie.

Blanc jaunâtre ou vert-pomme.

Dureté, 1, se raye à l'ongle. Densité, 2,78.

Masses bacillaires à structure rayonnée formées de cristaux fibreux orthorhombiques ou clinorhombiques, divergents autour de centres (pl. XXI, fig. 14).

On rencontre la pyrophyllite dans l'Oural aux environs de Berézow; en Suède, à Westana; aux environs de Spa, en Belgique.

Serpentine. — Silicate de magnésie hydraté $3MgO, 2SiO^2, 4H^2O$.

C'est plutôt une roche qu'un minéral proprement dit. On peut la considérer comme une *antigorite* impure, minéral feuilleté pseudocubique de composition analogue (pl. XXIII, fig. 8), mélangée d'oxyde de fer.

Sa texture est compacte, et sa cassure fibreuse ou écailleuse. Elle est très tenace, douce au toucher. Les marbrures vertes, jaunes ou brunes qu'elle présente ont quelque analogie avec celles de la peau d'un serpent, d'où son nom (pl. XXI, fig. 15).

La serpentine translucide prend le nom de *serpentine noble* (pl. XXIII, fig. 6).

On la rencontre dans les schistes talqueux en couches et en filons. Disséminée en veines dans les calcaires cristallins, elle donne naissance à des marbres estimés.

On donne encore le nom de *williamsite* à une variété transparente colorée en vert-pomme par l'oxyde de nickel (pl. XXIII, fig. 7).

On trouve la serpentine au mont Ramazzo, près de Gênes; à Monte-Ferrato, en Toscane; dans le val d'Aoste, dans le canton des Grisons, en Suisse; au Harz, en Saxe, en Cornouaille, en Écosse; dans le Var, l'Aveyron et les Vosges, en France.

Axinite. — Silicoborate d'alumine hydraté de fer, de manganèse, de chaux et de magnésie

$$6(Fe,Mn,Mg,Ca)O,2Al^2O^3,Bo^2O^3,8SiO^2 + H^2O.$$

Brun-girofle, bleu-de-Prusse, gris-perle. Transparente ou translucide. Dureté, 6,5 à 7. Densité, 3,27. Cristallise en prismes tricliniques diversement modifiés. Fond au chalumeau avec boursouflement en un verre sombre. Elle est pyroélectrique.

A. cristallisée. — En prismes tricliniques présentant des biseaux très aigus rappelant le taillant d'une hache (pl. XXI, fig. 16).

A. lamellaire. — Composée de cristaux aplatis enchevêtrés.

On la rencontre à Thun, Schneeberg, Schwarzenberg, en Saxe; aux environs de Barèges (Pyrénées), au Bourg-d'Oisans (Dauphiné), etc.

PLANCHE XXI

1. **Biotite.** — Silicate d'alumine et de magnésie riche en fer, appartenant au groupe des *micas*. En lames pseudohexagonales, mais en réalité clinorhombiques, provenant de roches volcaniques. — Frascati (Italie).

2. **Mica** brun jaunâtre en groupements sphéroïdaux feuilletés. — Hermanschlag, Mähren.

3. **Mica** rouge brun. — Wallis.

4. **Muscovite.** — Mica pauvre en fer, plus riche en alcalis. Cristaux groupés d'apparence hexagonale, verdâtres, à éclat micacé. Ils sont composés de lames clinorhombiques empilées suivant le clivage basique. — Comté de Michel (Caroline du Nord).

5. **Muscovite.** — Exceptionnellement en pyramides prismatiques formées de lames empilées. Dans un granite. — Miask, monts Ilmen (Oural).

6. **Muscovite.** — Lame pénétrée de lamelles d'oxyde de fer, disposées en une sorte de treillis à mailles hexagonales. — Newcastle (Delaware).

7. **Muscovite** rendue brunâtre par de l'oxyde de fer et renfermant des lames de tourmaline noire incluses dans la direction du plan de clivage. — Amérique du Nord.

8. **Muscovite.** — Lame gris verdâtre, de $1^m,5$ d'épaisseur, présentant des fentes déterminées par le clivage imparfait suivant les faces prismatiques.

9. **Lépidolite.** — Mica lithique fluorifère. Association composée de petites écailles donnant au minéral une légère teinte rose fleur-de-pêcher. — Raznau, Mähren.

10. **Chlorite.** — Silicate d'alumine, de fer et de magnésie, sans alcalis, avec 10 p. 100 d'eau ; vert bleuâtre, cristaux feuilletés lamellaires, clinorhombiques, hexagonaux en apparence. — Pfitschtal (Tyrol).

11. Schiste argileux compact, vert grisâtre avec paillettes vert noirâtre d'**Ottrélite.** Ce minéral a une composition chimique analogue à celle de la chlorite, mais il est sensiblement plus dur et contient de l'oxyde manganeux en abondance. — Belgique, Ottrez.

12. **Talc.** — Silicate de magnésie hydraté, diaphane, vert-d'eau, à éclat argenté, mou, onctueux et flexible. Masse composée d'une agglomération de petites écailles. — Alpes centrales.

13. **Talc** massif ayant revêtu la forme cristalline du quartz par pseudomorphose. — Gopferogrün (Fichtelgebirge).

14. **Pyrophyllite.** — Silicate d'alumine hydraté de composition chimique analogue à celle des argiles et du kaolin. Associations radiées de lamelles blanc grisâtre, à éclat soyeux. — Géorgie (Amérique du Nord).

15. **Serpentine** vert grisâtre en couches parallèles alternant avec des couches de chrysolite en fibres soyeuses jaunâtres. — Reichenstein (Silésie).

16. **Axinite.** — Silicoborate d'alumine et de chaux avec oxydes de fer et de manganèse. Cristaux tricliniques, en forme de coin aigu, brun rougeâtre à vif éclat vitreux, dans du quartz coloré par de l'oxyde de fer. — Bourg-d'Oisans (Dauphiné).



1. 2. 3. **Biotite.** *Silicate hydraté d'alumine, de fer, de magnésie et de potasse. Sorte de Mica riche en fer.* *4. 5. 6. 7. 8.* **Muscovite.** *Silicate hydraté d'alumine et de potasse avec un peu de fer. Sorte de mica pauvre en fer, riche en alcalis.* *9.* **Lépidolite.** *Silicate hydraté fluorifère d'alumine de lithine et de potasse. Mica de lithine compact.* *10.* **Chlorite.** *Silicate hydraté d'alumine, de fer et de magnésie en lames vertes.* *11.* **Ottrélite.** *Même composition que la Chlorite. En paillettes noires dans un schiste argileux.* *12.* **Talc.** *Silicate de magnésie hydraté massif.* *13.* **Talc** *pseudomorphique ayant pris la forme du Quartz.* *14.* **Pyrophyllite.** *Silicate d'alumine hydraté. Masses à structure radiofibreuse* *15.* **Serpentine** *massive. Silicate de magnésie hydraté.* *16.* **Axinite.** *Silicoborate d'alumine, de chaux, de fer et de manganèse cristallisé.*

SILICATES (Suite).

PYROXÈNES

Diopside. — Silicate de chaux et de magnésie dans lequel celle-ci peut être partiellement remplacée par du fer, $CaO(MgFe)O,SiO^2$.

Ce minéral appartient au groupe des pyroxènes. Il peut être incolore, blanc, jaune, verdâtre, vert-olive. Sa couleur dépend de la teneur en fer. Transparent ou translucide, éclat vitreux, poussière blanche.

Dureté, 5,5 à 6. Densité, 3,3.

Il cristallise dans le système clinorhombique. Clivage parfait suivant les faces du prisme, imparfait suivant les deux pinacoïdes. Cassure conchoïdale et inégale. La coloration est d'autant moins marquée qu'il contient moins de fer; souvent un même cristal présente des plages de teintes diverses (pl. XXII, fig. 2 et 3).

Le diopside fond au chalumeau en un émail grisâtre.

D. cristallisé. — En prismes clinorhombiques d'apparence rectangulaire, par suite de la prédominance des deux pinacoïdes, souvent modifiés sur les arêtes basiques et sur les angles; en prismes hexagones ou octogones diversement terminés (pl. XXII, fig. 1).

D. cylindroïde. — Longs cristaux minces accolés en tiges cannelées (pl. XXII, fig. 2 et 3).

D. bacillaire. — En faisceaux de prismes enchevêtrés (pl. XXII, fig. 4).

D. laminaire. — Masses grossièrement fissiles en lames.

D. granulaire. — En grains anguleux, d'un vert sombre (pl. XXII, fig. 5).

D. compact. — En masses verdâtres, finement granulaires ou tout à fait compactes.

On rencontre le diopside dans les diorites et les schistes argileux, les calcaires, les dolomies subordonnées aux gneiss et aux micaschistes, enfin dans des filons de magnétite, de chalcopyrite et de galène. Le diopside est très souvent associé au grenat et à la ripidolite. C'est un élément constituant de certaines roches.

On le rencontre à Mussa, Grassoney, Ala (Piémont), à Fassa, Monzoni (Tyrol), à Arendal (Norvège), à Sahla, Langsbanshytta, Tunaberg (Suède), à Franklin (New-Jersey), à l'île d'Elbe, etc.

Diallage. — Sorte de pyroxène isomorphe avec le diopside, mais plus riche en fer et contenant de l'alumine.

Vert, gris verdâtre, brun-girofle, brun-tombac, jaune-de-cuivre, à éclat métalloïde, nacré sur les faces de clivage facile. Poussière blanche.

Ses clivages ne sont pas tout à fait identiques à ceux du pyroxène diopside.

Dureté, 4. Densité, 3,2 à 3,34.

Ordinairement en minces lames à texture foliacée et clivage facile.

La variété verte en masses laminaires, associée au grenat et au disthène, constitue l'*omphazite* verte du Fichtelgebirge (pl. XXII, fig. 6).

On rencontre le diallage dans le Harz, sur les bords du lac de Genève, dans l'Oural, l'île d'Elbe, les Alpes, en Corse, etc.

Augite. — Silicate de magnésie, de chaux et de fer, contenant ordinairement un peu d'alumine et appartenant au groupe des pyroxènes $(Fe,Ca,Mg)O,SiO^2$. Noir ou noir verdâtre. Éclat vitreux, opaque, poussière gris noirâtre. Dureté, 6. Densité, de 3,3 à 3,4.

Fig. 133. — Augite.

L'augite cristallise dans le système clinorhombique. Difficilement fusible au chalumeau.

A. cristallisé. — Cristaux courts, de forme très nette et très simple. Ils portent les faces du prisme des deux pinacoïdes et se terminent par une hémiorthopyramide (pl. XXII, fig. 7 et 9).

A. maclé. — Réunion de deux cristaux accolés suivant une face antérieure d'orthopinacoïde (pl. XXII, fig. 8), l'un des deux cristaux ayant tourné par rapport à l'autre de 180° autour de l'arête antérieure des faces du prisme.

A. laminaire. — En lamelles et en grains cristallins dans les roches.

On rencontre l'augite dans les basaltes, les porphyres noirs, les mélaphyres et en général les roches basiques.

Il est fréquent et normal dans les roches volcaniques modernes.

On le trouve en Auvergne, à Albano et à Frascati, près de Rome; à Torre-del-Greco et à la Torre-dell'Annuntiato, près du Vésuve; près de l'Etna, de l'Hécla; à Arendal, en Norvège; aux bords du Rhin dans les terrains volcaniques, au Kaiserstuhl, à l'île Bourbon; etc.

Acmite. — C'est un pyroxène de fer et de soude $(Fe,Na^2)O,Fe^2O^3,4SiO^2$.

Brunâtre ou brun-rouge, éclat vitreux inclinant au résineux, à poussière gris jaunâtre, opaque.

Clinorhombique comme l'augite.

Cassure inégale et terreuse.

Dureté, 6 à 6,5.

En cristaux très fragiles allongés dans le sens des faces prismatiques et présentant l'aspect de la tourmaline (pl. XXII, fig. 10).

Dans les granites de Rundemyr, près de Konsberg, en Norvège, avec feldspath et quartz. Les cristaux ont jusqu'à 30 centimètres de long.

Bronzite. — Pyroxène orthorhombique de fer et de magnésie (Mg,Fe)O,SiO^2.

Brun-girofle, brun-tombac, à éclat submétallique et perlé. Clivage parfait suivant le brachypinacoïde. En lamelles remarquables par leurs reflets bronzés (pl. XXII, fig. 11).

On la rencontre dans les serpentines et les péridotites. Provenances principales : Gulsen, en Styrie, Ultenthal (Tyrol), etc.

Hypersthène. — Silicate de fer, de magnésie et de chaux (Fe,Mg,Ca)O,SiO^2, appartenant au groupe des pyroxènes orthorhombiques.

C'est le plus riche en fer.

Brun, jaune brunâtre, noir ou grisâtre à éclat vitreux sur les faces de clivage facile, qui présentent des reflets cuivrés, dus, croit-on, à des inclusions.

Dureté, 5 à 6. Densité, de 3,2 à 3,4.

L'hypersthène cristallise dans le système orthorhombique.

Il fond au chalumeau en un verre noir magnétique.

H. cristallisé. — Assez rare. Les cristaux présentent généralement les faces du prisme orthorhombique modifié par les deux pinacoïdes, et surchargé de facettes sur les arêtes verticales et sur les angles.

H. laminaire. — En masses feuilletées formées de petites écailles imbriquées (pl. XXII, fig. 12).

L'hypersthène est souvent associé au labrador et commun dans certaines roches granulaires telles que les norites, les hypérites, les gabbros, les diabases et certaines andésites.

On le rencontre à l'île Saint-Paul au Labrador; au Canada, dans l'île de Skye; au Groënland; en Norvège; en Suède, à Elfdelen; en Bohême, à Konsberg; en Silésie; en Thuringe; en France, au Capucin (mont Dore), en Bretagne, dans l'Aveyron, etc.

Taillé en cabochon, on le monte en chaton de bague.

AMPHIBOLES

Trémolite. — Silicate de fer, de magnésie et de chaux CaO,3(FeMg)O,4SiO^2 appartenant au groupe des amphiboles.

Incolore, blanche, verdâtre ou grise. Translucide à éclat vitreux tirant sur le nacré.

Dureté, de 5 à 6. Densité, 2,9.

Cristallise dans le système clinorhombique. Fond facilement en un émail blanc.

Tr. cristallisée. — Les cristaux complets sont fort rares; ils sont généralement très simples et forment des prismes clinorhombiques terminés par un biseau; les cristaux ordinaires sont des prismes sans terminaison.

Tr. fibreuse. — En masses formées de paquets de fibres parallèles à éclat soyeux (pl. XXII, fig. 13).

Ce minéral est disséminé dans les dolomies et les calcaires saccharoïdes des roches schisteuses ou métamorphiques.

On rencontre la trémolite à Campo-Longo, au Saint-Gothard, dans la vallée de Trémola, en Suisse; à Pfitsch et à Ziller dans le Tyrol; à Grünnstadtal, Breitenbrunn et Rittersgrunn, en Saxe; à Aker et Gülsjo, en Suède; à Dagnatzka, Moravicza, Resbanya, dans le Bannat; en Bohême, en Amérique, etc.

Actinote. — Silicate de fer, de chaux et de magnésie (Mg,Ca,Fe)O,SiO^2 appartenant au groupe des amphiboles. Isomorphe de la trémolite, elle contient plus de fer, mais moins que l'espèce suivante, la hornblende. Vert noirâtre, vert-bouteille, vert-olive, vert jaunâtre, à éclat vitreux, à poussière blanc verdâtre.

Dureté, 5 à 5,5. Densité, 2,8 à 3,3.

Translucide ou opaque, polychroïque.

Elle cristallise comme la trémolite et la hornblende dans le système clinorhombique. Fond en bouillonnant légèrement.

A. cristallisée. — En prismes orthorhombiques allongés, rarement terminés par une protopyramide ou un brachydôme.

A. radiée. — En masses bacillaires d'apparence rayonnée de cristaux groupés autour de centres. Ce mode de structure lui a donné son nom (ἀκτίς, strahlstein) (pl. XXII, fig. 14).

A. granulaire. — Masses à gros ou petits grains (pl. XXII, fig. 15).

On rencontre ce minéral dans les schistes talqueux et chloriteux, les serpentines et les gîtes de fer de Suède.

On en trouve à Greiner (Zillerthal), dans le Tyrol, au Saint-Gothard, dans les Grisons (Suisse) et dans une multitude de localités de Saxe, de Suède, de Hongrie, de Norvège et d'Amérique.

Hornblende. — Silicate d'alumine, de fer, de chaux et de magnésie présentant une composition analogue à celle des autres amphiboles, mais contenant plus de fer et jusqu'à 14 p. 100 d'alumine.

Ce minéral, de couleur vert foncé ou noire, présente plusieurs variétés ayant même dureté 5,5 et même densité 3 à 3,4 et cristallisant dans le système clinorhombique.

Ce sont :

1° La *H. proprement dite,* verte, brun foncé ou noire, en cristaux rarement terminés, enchâssés dans la pâte des roches cristallines anciennes.

2° La *H. basaltine,* toujours noire, à surface souvent couturée, en cristaux terminés brillants (pl. XXII, fig. 17).

3° La *Pargasite,* vert-céladon, vert noirâtre ou même bleu foncé, trouvée dans un calcaire de Pargas (pl. XXII, fig. 16).

H. cristallisée. — Ordinairement en prismes clinorhombiques modifiés par le clinopinacoïde et terminés par la base et les faces d'une hémiorthopyramide postérieure, ce qui donne à la variété basaltine une apparence pseudorhomboédrique (pl. XXII, fig. 17).

H. maclée. — Deux cristaux se réunissent et se pénètrent de manière à avoir en commun un plan parallèle à l'orthopinacoïde passant sur le sommet trièdre. De ce fait, l'ensemble acquiert une apparence orthorhombique (pl. XXIII, fig. 1).

H. compacte. — En masses fibreuses à cassure plane, à éclat vitreux vif, dans les roches.

La hornblende est un élément essentiel des syénites, des diorites et des andésites. Dans les basaltes et les laves, elle n'est qu'un élément accessoire.

Les beaux cristaux viennent d'Arendal et de Konsberg en Norvège ; de Traverselle, en Piémont; de Kufpferberg en Silésie ; de Carinthie. La basaltine se rencontre dans les basaltes du Rhône, dans les tufs de Souabe, au Mittelgebirge (Bohême), dans les trachytes du Siebengebirge, dans les laves du Laacher-See et au Vésuve.

Anthophyllite. — Silicate de fer et de magnésie $(Mg,Fe)SiO^3$. On peut la considérer comme une amphibole orthorhombique. En masses fibreuses aciculaires jaune-brun ou brunes (pl. XXII, fig. 18).

PLANCHE XXII

1. **Diopside.** — Silicate de magnésie et de chaux, appartenant au groupe des pyroxènes. Prismes clinorhombiques portant les faces de l'ortho et du clinopinacoïde et celle de deux hémiorthopyramides antérieure et postérieure. Avec grenat grossulaire (rose). — Alpes de Mussa (Piémont).

2 et 3. **Diopside.** — Prismes cannelés et striés, non terminés; celui de droite est incolore et vert. — Alpes de Mussa (Piémont).

4. **Diopside.** — En tiges radiées. — Zillerthal.

5. **Diopside granulaire.** — Agrégat de cristaux courts diversement orientés. La coloration indique une forte teneur en fer. — Arendal (Norvège).

6. **Omphazite.** — Diallage aluminifère grenu associé au grenat dans une *éclogite.* — Silberbach (Fichtelgebirge).

7. **Augite.** — Silicate de magnésie, de chaux et de fer appartenant au groupe des pyroxènes. Cristal portant les faces du prisme, de l'ortho et du clinopinacoïde et terminés par une hémiorthopyramide.

8. **Augite.** — Macle de deux cristaux par hémitropie normale, accolés suivant une face de l'orthopinacoïde. Provient d'un tuf basaltique. — Bohême du Nord.

9. **Augite.** — En cristaux dans une lave basaltique dont les vacuoles sont tapissées de zéolites. — Limbourg, au Kaiserstuhl.

10. **Acmite.** — Silicate de fer et de soude rattaché au groupe des pyroxènes. Prismes noirs allongés, incrustés dans du quartz cristallin massif. — Eker (Norvège).

11. **Bronzite.** — Silicate de fer et de magnésie appartenant au groupe des pyroxènes orthorhombiques, en feuillets aplatis, à éclat submétallique. — Ultental (Tyrol).

12. **Hypersthène.** — Silicate de fer, de magnésie et de chaux appartenant au groupe des pyroxènes orthorhombiques, en masses lamellaires feuilletées montrant les reflets cuivrés des lames de clivage. Les feuillets sont séparés par des inclusions lamellaires d'un minéral indéterminé. — Ile Saint-Paul, côte de Labrador.

13. **Trémolite.** — Silicate de magnésie et de chaux, contenant quelque peu de fer, appartenant au groupe des amphiboles. Masses bacillaires de cristaux fibreux entrelacés. La figure ne rend qu'imparfaitement l'éclat soyeux de ce minéral. — Environs du Saint-Gothard.

14. **Actinote.** — Silicate de chaux, de magnésie et de fer appartenant au groupe des amphiboles. Faisceaux de cristaux fibroradiés vert grisâtre, implantés dans une masse grenue de même nature. — Brévik (Norvège).

15. **Actinote.** — En masse grenue vert clair. — (Tyrol).

16. **Pargasite.** — Variété verte de hornblende en cristaux courts enchâssés dans une calcite lamellaire. — Pargas (Finlande).

17. **Hornblende.** — Silicate aluminifère de chaux et de magnésie, appartenant au groupe des amphiboles. Cristal opaque, noir, altéré, présentant les faces du prisme, du clinopinacoïde, d'une hémiorthopyramide postérieure et la base. L'échantillon provient d'un tuf basaltique. — Bohême du Nord.

18. **Anthophyllite.** — Sorte de hornblende orthorhombique, en masse brune, avec mouches de chalcopyrite. — Snarum (Norvège).



1. **Pyroxène diopside.** *Silicate de chaux et de magnésie cristallisé. 2 et 3.* **Pyroxène diopside** *en cristaux colorés. 4.* **Pyroxène diopside.** *Cristaux groupés. 5.* **Pyroxène diopside** *granulaire. 6.* **Omphazite** *verte. Silicate de fer et de chaux appartenant au groupe des Pyroxènes. 7.* **Pyroxène augite.** *Silicate aluminifère de fer, de magnésie et de chaux. 8.* **Pyroxène augite.** *Cristal maclé. 9.* **Basaltine.** *Variété de pyroxène augite. 10.* **Acmite.** *Silicate de fer et de soude. Sorte de pyroxène sodique en cristaux allongés: 11.* **Bronzite.** *Silicate aluminifère de fer et de magnésie en lamelles cristallines jaune de bronze. 12.* **Hypersthéne.** *Silicate de fer, de magnésie et de chaux. Lamelles cristallines. 13.* **Amphibole trémolite.** *Silicate de magnésie et de chaux avec un peu de fer. Cristaux lamellaires. 14.* **Amphibole actinote.** *Silicate de magnésie et de chaux contenant plus de fer que la Trémolite. Masse radiofibreuse. 15.* **Amphibole actinote** *compacte. 16.* **Pargasite.** *Variété verte* **d'Amphibole Hornblende.** *Silicate de fer, de chaux et de magnésie aluminifère. 17.* **Amphibole Hornblende.** *18.* **Anthophyllite** *lamellaire. Silicate de fer et de magnésie.*

SILICATES (SUITE).

SILICATES DIVERS

Asbeste ou **Amiante.** — C'est un produit d'altération de la trémolite, qui, en s'hydratant, se transforme en filaments souples à éclat soyeux, doux au toucher, enchevêtrés comme des fils de coton. On trouve tous les passages entre la trémolite et l'amiante proprement dite.

Ses qualités textiles, exceptionnelles dans un minéral, son inaltérabilité à l'air et à la chaleur, ont été connues de l'antiquité. Elle ne fond, en effet, qu'à la flamme du chalumeau et reste inaltérée aux foyers ordinaires.

Les anciens la tissaient en étoffes incombustibles et en mèches de lampe. Actuellement on en fabrique du papier, du carton, des toiles incombustibles, des joints de machine à vapeur, etc.

La plus grande partie de l'amiante employée par l'industrie vient du Canada, mais on la rencontre en Tarentaise, au petit Saint-Bernard, en Corse où elle est très abondante, dans le Dauphiné, en Sibérie, etc.

Crocidolite. — Masses formées de fibres soyeuses ressemblant à l'amiante, d'un bleu verdâtre et velouté, et accolées longitudinalement dans la plupart des cas.

Certains auteurs la considèrent comme résultant de l'altération de l'*arfvedsonite,* sorte d'amphibole, tandis que d'autres en font l'asbeste correspondant à la hornblende.

Les fibres incluses auxquelles est dû le chatoiement du quartz « œil de chat » doivent être rapportées à ce minéral, qui accompagne les gîtes de fer dans l'Afrique australe, au Griqualand.

Néphrite. — Silicate d'alumine et de chaux

$$2MgO,CaO,3SiO^2$$

d'après Rammelsberg, mais contient en outre un peu d'alumine, d'oxyde de fer, d'eau et parfois du chrome. C'est une sorte de trémolite compacte.

Substance blanchâtre, verdâtre, verte ou brun verdâtre, souvent nuancée de diverses teintes marbrées réunies sur le même échantillon (pl. XXIII, fig. 5).

Elle est amorphe, présente un éclat graisseux et une fracture esquilleuse.

Dureté variant, d'après la provenance, de 5 à 6,5.

Elle raye le verre. Densité, 2,95 à 3,2.

Sa texture finement fibreuse, sa dureté assez considérable, son défaut de clivage, lui donnent une grande ténacité dans tous les sens, ténacité à laquelle elle doit ses applications.

Au chalumeau, la néphrite fond en un émail blanc. Elle est abondante au Thibet, en Chine et sur les côtes nord-ouest de la Nouvelle-Zélande.

Avant la découverte du fer elle a été employée dans les temps préhistoriques à la fabrication d'armes, de haches, de grattoirs, de marteaux. Les peuplades sauvages de la Nouvelle-Zélande la faisaient servir au même usage au siècle dernier. Enfin, les Orientaux la travaillent encore en poignées de sabres, en cachets, en statuettes, en amulettes, etc.

Jadéite. — Silicate d'alumine et de soude

$$Na^2O,Al^2O^3,4SiO^2,$$

sorte de pyroxène sodique vert-émeraude, vert-pomme, vert bleuâtre, blanchâtre, à éclat vitreux faible, translucide.

Ses propriétés optiques lui assignent une symétrie clinorhombique.

Elle se présente en masses compactes à cassure esquilleuse, quelquefois granulaire. Dureté, 6,5 à 7. Densité, 3,33 à 3,35.

Sa grande fusibilité la distingue des autres pierres confondues sous le nom de *jade.* Les esquilles minces fondent sur les bords à la flamme d'une simple lampe à alcool.

On rencontre la jadéite dans l'Asie orientale, par exemple dans le district de Mogoung dans le Yung-chang (province de Yunnan), au sud de la Chine, au Thibet, aux environs de Mexico, dans l'Amérique du Sud, etc. La facilité avec laquelle on peut travailler cette substance l'avait désignée aux artisans préhistoriques et aux civilisations naissantes comme matière première d'armes, d'ustensiles, d'outils et d'ornements sacrés. Les Chinois la travaillent encore avec une grande perfection.

On trouve dans les collections de nombreux objets en jadéite provenant des stations lacustres de Suisse, ou recueillis parmi les débris de l'industrie préhistorique au Mexique, en Grèce et en Asie Mineure.

Sphène. — Silicotitanate de chaux $CaO,(Si,Ti)O^2$ jaune, jaune verdâtre, vert clair, vert jaunâtre ou brun. Éclat adamantin.

Dureté, 3,2 à 3,7.

Cristallise dans le système clinorhombique.

Polychroïque. Fond au chalumeau avec bouillonnement sur les bords.

S. cristallisé. — Cristaux de forme très variée parfois difficiles à définir. Ils sont souvent très aigus, en forme de coin (d'où leur nom). Ce sont des prismes clinorhombiques simples ou modifiés, ou des octaèdres obliques de différents genres (pl. XXIII, fig. 9, 10, 11).

S. maclé. — Présente généralement une gouttière caractéristique de l'espèce.

S. laminaire. — Petites masses lamelleuses, jaunâtres ou verdâtres.

C'est un minéral des roches cristallophylliennes. On le trouve dans le granite des Alpes, les micaschistes, les talcschistes, les gneiss, les amas métallifères anciens, etc.

On le rencontre à Pormenaz, à Chalanches, à Maromme (Dauphiné), au Saint-Gothard, dans les Grisons; à Arendal, en Norvège; à Trolhata, à Gustavsberg, en Suède; à Uzerche, à Nantes; à Kalligt (Tyrol), à Sainte-Marie-aux-Mines (Vosges), en Moravie, à l'île d'Elbe, dans les trachytes du puy de Dôme, du puy de Chapuis, en Auvergne; au mont Dore, etc.

PLANCHE XXIII

1. **Hornblende.** — Macle de deux cristaux suivant l'orthopinacoïde. Elle est terminée par les faces d'une hémiclinopyramide postérieure. — Rostenblatt (Bohême).

2. **Asbeste.** — Variété de trémolite en fibres fines parfaitement flexibles, douces au toucher, à éclat soyeux. — Zillerthal.

3. **Crocidolite.** — Variété fibreuse de hornblende. — Monts Griqualand (Afrique).

4. **Néphrite.** — Variété d'amphibole très tenace, en masses fibreuses vertes, translucides sur les bords avec lumière transmise verte. Susceptible d'un beau poli.

5. **Jadéite.** — Variété cristalline d'augite sodifère en masses fibreuses, susceptibles d'un beau poli.

6. **Serpentine noble.** — Silicate hydraté de fer et de magnésie, vert avec marbrures jaunâtres rappelant les dessins d'une peau de serpent. Massive et pénétrée de lames de mica.

7. **Serpentine noble.** — Pauvre en fer; doit vraisemblablement sa coloration vert-pomme à de l'oxyde de nickel, translucide. — Texas (Pennsylvanie).

8. **Serpentine feuilletée** (*antigorite*). — De composition analogue, fissile en lames minces. — Binnenthal (Suisse).

9, 10. **Sphène.** — Silicotitanate de chaux, en cristaux clinorhombiques formant une sorte de coin aigu, portant le prisme, la base et un hémidôme dans la figure 9. Sa couleur gris verdâtre est due à de la chlorite mélangée.

Dans la figure 10, le sphène est de deux couleurs : cristaux brun-vert et cristaux rouge-rubis avec adulaire (feldspath), recouvert d'une poussière verte sur un feutrage d'asbeste. — Dissentis, Graubünden.

11. **Sphène.** — Macle en gouttière caractéristique de l'espèce et formée de deux individus réunis parallèlement à l'orthopinacoïde. Elle repose sur du feldspath imprégné de chlorite vert noirâtre (adulaire). — Scopi (Suisse).

12. **Natrolite.** — Variété de mésotype, silicate hydraté d'alumine et de soude appartenant au groupe des zéolites (voir p. 65), en masses fibro-compactes, à structure radiée. Sur une phonolite altérée. — Hohentwiel.



1. **Amphibole Hornblende.** *Macle.* *2.* **Asbeste.** *Variété fibreuse d'Amphibole Trémolite.* *3.* **Crocidolite.** *Amphibole fibreuse bleue.* *4.* **Néphrite.** *Variété compacte d'Amphibole.* *5.* **Jadéite** *compacte. Silicate d'alumine sodifère.* *6.* **Serpentine** *noble. Silicate hydraté de fer et de magnésie.* *7.* **Serpentine** *noble compacte.* *8.* **Antigorite.** *Variété de Serpentine feuilletéc.* *9.* **Sphéne.** *Silicotitanate de chaux cristallisé.* *10.* **Sphéne.** *Cristaux verdâtres et rouge brun.* *11.* **Sphéne.** *Cristaux et macle.* *12.* **Natrolite.** *Silicate hydraté d'alumine et de Soude.*

SILICATES (Suite).

ZÉOLITES

Les espèces principales de ce groupe sont : le *mésotype*, l'*analcime*, la *chabasie*, la *stilbite*, l'*harmotome*, la *desmine* et la *phillipsite*.

Mésotype. — C'est un silicate hydraté d'alumine et de soude $Na^2O,Al^2O^3,4SiO^2,2H^2O$. Il cristallise dans le système orthorhombique et présente ordinairement le prisme fondamental surmonté d'un octaèdre direct. Il se présente sous la forme de cristaux allongés hyalins, d'un vif éclat vitreux, ou en minces aiguilles implantées sur diverses gangues, enfin en rognons bacillaires ou fibreux. La variété natrolite constitue des masses fibro-compactes jaunâtres ou rouges composées de noyaux sphéroïdaux radiés; leur coloration est due à des oxydes de fer. Elle fond à la flamme d'une simple bougie.

On rencontre le mésotype aux îles Feroë; en Bohême à Marienberg, à Téplitz; dans la vallée de Fassa au Tyrol, dans la Vénétie, en Angleterre et en Écosse, en Norvège (Brevig), dans l'Amérique du Nord, au lac Supérieur, etc.

Analcime (ἀναλκίς, sans force, parce qu'il s'électrise peu par le frottement). — C'est un silicate hydraté d'alumine de soude où celle-ci est partiellement remplacée par de la chaux $(Na^2Ca)O,Al^2O^3,4SiO^2,2H^2O$. On la trouve en cristaux incolores, blancs, rougeâtres ou rouge-de-chair, à éclat vitreux quelquefois nacré, d'une dureté de 5,5 à 6, rayant difficilement le verre. Soumise à l'action du chalumeau, elle colore la flamme en jaune (sodium). L'analcime cristallise en formes paraissant appartenir au système cubique, généralement en trapézoèdres, ou encore en cubes pyramidés très surbaissés, modifiés par les facettes d'un trapézoèdre. On la rencontre dans la vallée de Fassa (Tyrol), en Auvergne, en Irlande (Staffa), en Écosse (Dumbarton), dans l'Oural, les îles Cyclopes, etc. Elle est fréquente dans les laves des volcans modernes (Vésuve).

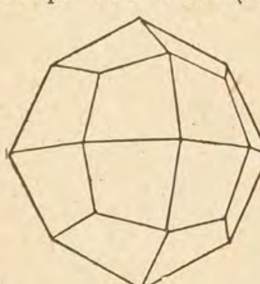


Fig. 134. = Analcime.

Chabasie. — Silicate hydraté d'alumine et de chaux où celle-ci est en partie remplacée par un peu de potasse et de soude $(Ca,Na^2,K^2)O,Al^2O^3,4SiO^2+6H^2O$. Elle se présente en petits cristaux incolores, blanc laiteux, jaunes, roses ou rouge clair. Dureté, de 4 à 4,5. Densité voisine de 2,1. Elle cristallise en rhomboèdres de 94° 46′. Le rhomboèdre primitif est modifié par des rhomboèdres inverses tronquant les arêtes. Elle est souvent associée à la stilbite, l'harmotome et aux autres zéolites.

On la rencontre à Oberstein (Palatinat), à Fassa (Tyrol), en Bohême, aux îles Feroë, etc.

Stilbite (de στίλβειν, briller). — Silicate hydraté d'alumine de chaux, de potasse et de soude

$$(K^2,Na^2,Ca)O,Al^2O^3,6SiO^2+6H^2O.$$

Elle constitue de beaux cristaux ordinairement groupés en masses flabelliformes, blanches, jaunes, rouge-de-chair, rouge foncé ou brunes, à éclat vitreux, nacré sur le clivage. Ce sont les prismes orthorhombiques modifiés par le macro et le brachypinacoïde, aplatis parallèlement à ce dernier et terminés par un octaèdre. Au chalumeau elle devient opaque, s'exfolie, fond ensuite en un émail blanc. On la rencontre en Écosse, dans les îles Feroë, dans les Hébrides, dans l'Oisans, au Saint-Gothard, dans les basaltes de Nassau, en Auvergne, au Harz, etc.

Harmotome. — Silicate hydraté d'alumine, de baryte et de potasse $(K^2,Ba)O,Al^2O^3,5SiO^2,5H^2O$. Cristaux ou croûtes cristallines d'un blanc laiteux, souvent nuancés de jaune, de rouge ou de gris. Les cristaux, orthorhombiques en apparence, ne sont en réalité que des macles de quatre individus clinorhombiques. Deux de ces combinaisons se croisent généralement à angle droit pour donner une macle en forme de croix. On rencontre l'harmotome dans le Harz, à Andreasberg; en Écosse, à Strontian, etc.

Desmine. — Silicate hydraté d'alumine et de chaux très analogue à la stilbite par sa composition et ses propriétés. Elle ne s'en distingue guère que par des groupements de cristaux en forme de gerbes ou de touffes rappelant l'aspect de petits fagots. On la rencontre aux îles Feroë, en Islande, en Écosse, en Sibérie, au Saint-Gothard, etc.

Phillipsite.— Silicate hydraté d'alumine, de potasse et de chaux $(K^2Ca)O,Al^2O^3,4SiO^2,4H^2O$. Ordinairement en cristaux blancs, gris ou jaunâtres, quelquefois en masses à texture radiée. Elle présente les mêmes formes que l'harmotome, mais ses macles sont encore plus compliquées.

On la rencontre en Irlande (Chaussée des Géants), à la Somma et au puy de Dôme, dans des laves, à Plombières et à Bourbonne-les-Bains dans la maçonnerie des sources thermales. Elle a été ramenée des grandes profondeurs par les dragages opérés par le *Challenger* au sud des îles Sandwich.

MINÉRAUX HYDROCARBONÉS

Ambre ou Succin. — C'est une résine fossile. Il peut être rouge-hyacinthe, jaune-de-miel, brun-rouge, blanc jaunâtre, transparent, translucide ou opaque (pl. XXIV, fig. 12, 13, 14, 15).

Dureté, 2 à 2,5. Densité, de 1 à 1,1. Amorphe. Frotté, il s'électrise, et le mot grec ἤλεκτρον est la racine étymologique du mot *électricité*.

Il est insoluble dans l'eau.

Soumis à l'action de la chaleur, il fond à 287°, puis brûle avec une flamme fuligineuse. Par distillation il donne de l'*acide succinique*, ce qui peut servir à le différencier de nombreuses falsifications. C'est un produit d'exsudation d'arbres tertiaires, et il est abondant dans les lignites de cette époque, en Sicile, en France, en Allemagne. On le rencontre en petite quantité dans des argiles des environs de Paris. On en recueille beaucoup sur les bords de la mer Baltique, qui le rejette après l'avoir arraché aux terrains encaissants.

Il est employé à la confection de colliers, de grains de chapelets, de fume-cigares, de pipes, etc.

Ozokérite, Cire fossile. — C'est une matière de nature bitumineuse formée d'un mélange de carbures d'hydrogène appartenant à la série grasse et à la série benzénique.

Elle est généralement de consistance molle et se raye à l'ongle; grasse au toucher. Sa couleur varie du jaune au brun ou au vert. Opaque en masse, elle est translucide en lames minces (pl. XXIV, fig. 16).

Elle se présente en masses irrégulières paraissant formées de couches contournées, souvent d'apparence fibreuse. On rencontre l'ozokérite dans les Carpathes; à Ilanik, en Moldavie; au Caucase; dans l'Utah, à Barylaw; en Galicie et dans la houillère d'Urpeth, près de Newcastle.

On en extrait par dissolution dans le benzène la *cerisine*, ou *cire minérale*, et la *paraffine*.

PLANCHE XXIV

1. **Mésotype.** — Silicate hydraté d'alumine et de soude (zéolite). Cristaux aciculaires orthorhombiques tapissant une vacuole de phonolite. — Salesel, près d'Aussig.

2. **Mésotype.** — En agrégats aciculaires rayonnés, avec stilbite lamellaire. — Islande.

3. **Mésotype** rouge, en masses fibreuses rayonnées. — Fassa (Tyrol).

4. **Analcime.** — Silicate hydraté d'alumine et de soude (zéolite). Icositétraèdres blanchâtres, opaques, avec apophyllite en feuillets. — Vallée de Fassa.

5. **Chabasie.** — Silicate hydraté d'alumine de soude et de chaux (zéolite). Rhomboèdres vitreux dans une phonolite (même provenance).

6. **Chabasie.** — Silicate hydraté d'alumine et de chaux (zéolite) de la Nouvelle-Écosse (Amérique du Nord), fortement colorée en rouge par de l'oxyde de fer. — Nouvelle-Ecosse (Amérique du Nord).

7. **Stilbite.** — En tables minces, aplaties suivant le brachypinacoïde. — Iles Feroë.

8. **Stilbite.** — Vallée de Fassa.

9. **Harmotome.** — Silicate hydraté d'alumine et de baryte (zéolite). Macle en croix résultant d'un assemblage compliqué de cristaux clinorhombiques. — Andreasberg.

10. **Desmine.** — Silicate hydraté d'alumine et de chaux (zéolite). Agrégats de cristaux en forme de gerbes. — Saint-Gothard.

11. **Phillipsite.** — Silicate hydraté d'alumine, de potasse et de chaux (zéolite). En croûtes dans les vacuoles d'un basalte. — Lave basaltique du Vogelsberg.

12-15. **Ambre.** — Résine fossile, de couleurs variées. Les figures de 12 à 14 appartiennent à la même formation tertiaire; 15 est un échantillon brun et rouge provenant des grès des Carpathes.

16. **Ozokérite** ou **Cire minérale.** — Paraffine naturelle. — Boryslaw (Galicie).



1. **Mésotype.** *Silicate hydrâté d'alumine et de soude tapissant les parois d'une géode.* *2.* **Mésotype** *fibreux.* *3.* **Mésotype** *fibreux rouge.* *4.* **Analcime.** *Silicate hydraté d'alumine, de chaux et de soude cristallisé.* *5.* **Chabasie** *cristallisée. Silicate hydraté d'aiumine, de chaux, et d'alcalis.* *6.* **Chabasie** *cristallisée rouge.* *7.* **Stilbite** *cristallisée. Silicate hydraté d'alumine, de chaux, de potasse et de soude.* *8.* **Stilbite** *cristallisée rouge.* *9.* **Harmotome.** *Silicate hydraté d'alumine, de baryte et de potasse en cristaux maclés.* *10.* **Desmine.** *Silicate hydraté d'alumine et de chaux cristallisé.* *11.* **Phillipsite.** *Silicate hydraté d'alumine, de potasse et de chaux. tapissant les vacuoles d'un basalte.* *12. à 15.* **Ambre.** *Échantillons de colorations diverses.* *16.* **Ozokérite.** *Mélange d'hydrocarbures solides.*

PLANCHE XXV

1. **Gneiss.** — Haut de la figure, coupe parallèle à la direction de schistosité; bas de la figure, coupe transversale à cette direction. — Freiberg, Erzgebirge.

2. **Leptynite micacée.** — Passant au gneiss, coupe normale à la direction de schistosité. — Waldheim, Saxe.

3. **Granite à biotite.** — A structure porphyrique. Les gros éléments disséminés dans la masse sont des cristaux d'orthose. — Heidelberg (Bade).

4. **Granite rougeâtre.** — A deux micas. — Eibenstock (Erzgebirge).

5. **Granite à biotite.** — A grains fins.

6. **Granite** à structure globulaire. — Cette structure provient d'une disposition particulière en couches concentriques et sphériques de parties alternativement riches et pauvres en mica biotite. — Finlande.

7. **Pegmatite graphique.** — En plaque polie. Le quartz grisâtre apparaît en cristaux squelettiques au milieu de la masse d'orthose. — Terrains granitiques de Carlsbad (Bohême).

8. **Syénite.** — Mélange de feldspath potassique rose et de hornblende noire. — Environs de Dresde.

9. **Diorite quartzifère à biotite (Tonalite).** — Mélange d'oligoclase (feldspath strié sodique blanc), de quartz grisâtre et de hornblende noire. — Adamello (Alpes centrales).

10. **Porphyrite à labrador.** — Cristaux vert clair de labrador inclus dans une pâte noirâtre de nature feldspathique. — Herborn (Nassau).

11. **Gabbro.** — Mélange de diallage noirâtre et de labrador blanc grisâtre. — Volpersdorf (Silésie).

12. **Serpentine.** — Cap Lizard (Cornouaille).

13. **Porphyre quartzifère.** — Pâte compacte, gris rosâtre, pénétrée de nombreux cristaux de feldspath altéré et de petits cristaux de quartz gris fumeux. — Bade.

14. **Porphyre quartzifère** présentant la structure fluidale d'une roche solidifiée immédiatement après fusion. — Umstadt (Hesse).

15. **Porphyre bréchiforme.** — Fragments anguleux de porphyre ressoudés par une pâte de nature analogue d'un brun rougeâtre. — Dassenheim, près de Heidelberg.



1. **Gneiss.** *Plaques polies.* *2.* **Leptynite micacée.** *Plaque polie.* *3.* **Granite à Biotite.** *4.* **Granite à deux Micas.** *5.* **Granite à Biotite** *à grains fins.* *6.* **Granite** *orbiculaire.* *7.* **Pegmatite graphique.** *8.* **Syénite.** *9.* **Diorite quartzifère à Biotite.** *10.* **Porphyrite à Labrador.** *11.* **Gabbro.** *12.* **Serpentine.** *13.* **Porphyre quartzifère.** *14.* **Porphyre quartzifère** *à structure fluidale.* *15.* **Porphyre bréchiforme.**

PLANCHE XXVI

16. **Pechstein globulaire.** — Roche vitreuse de pâte feldspathique présentant à son intérieur des globules distincts de nature felsitique colorés par de l'oxyde de fer. — Spechtshausen, près Tharand (Saxe).

17. **Perlite.** — Roche vitreuse bleuâtre à éléments globulaires jaunes. — Val d'Hlimiker (Hongrie).

18. **Obsidienne.** — Sorte de verre feldspathique noir des îles Lipari à gauche, et de Yellowstone Park (Amérique du Nord) à droite, avec inclusion de matières analogues.

19. A droite, **Porphyre vert antique.** — Les cristaux vert clair sont du labrador altéré. — Péloponèse.

A gauche : **Porphyre rouge antique,** cristaux de feldspath blanchâtre dans une pâte porphyrique rouge. — Djebel Dokhan (Égypte).

20. **Mélaphyre Amygdaloïde.** — Roche éruptive basaltique à base d'augite, criblée d'alvéoles postérieurement remplis de carbonates. — Bergzabern (Pfalz).

21. **Dolérite.** — Roche basaltique avec phénocristaux de feldspath plagioclase. — Meissner (Hesse).

22. **Schiste tacheté.** — Modifié par le contact de roches éruptives qui a fait naître des cristaux dans sa masse. — Tipersdorf (Erzgebirge).

23. **Ophicalcite.** — Marbre traversé de veines de serpentine. — Obernzell, près Passau.

24. **Calcaire coralloïde bigarré.** — Marbre du terrain dévonien. — Rübeland (Harz).

25. **Calcaire carbonifère.** — Marbre contenant des débris de crinoïdes, qui tranchent par leur coloration claire sur la masse du calcaire coloré en noir par des matières charbonneuses. — Bristol (Angleterre).

26. **Marbre bariolé.** — Sillonné de veines de diverses nuances. — Alpes.

27. **Marbre coquillier** du terrain crétacé avec nombreuses coquilles d'une *actæonella.* — Salzbourg.

28. **Calcaire d'eau douce.** — Les zones colorées par de l'oxyde de fer caractérisent bien l'origine sédimentaire de la roche. — Böttingen (Wurtemberg).

29. **Marbre ruiniforme.** — Les apparences sont dues à des inclusions d'argile ferrugineuse primitivement déposées en couches parallèles, et qui ont éprouvé des dénivellations subséquentes par suite de la contraction des couches sous-jacentes. — Florence.

30. **Poudingue.** — Conglomérat de matériaux roulés, réunis par un ciment de nature siliceuse. — Écosse.



16. **Pechstein** *globuleuse.* *17.* **Perlite** *globuleuse.* *18.* **Obsidienne.** *19.* **Porphyre** *vert antique (à gauche).* **Porphyre** *rouge antique (à droite).* *20.* **Mélaphyre** *amygdaloïde.* *21.* **Dolérite.** *22.* **Schiste tacheté.** *23.* **Ophicalcite.** *24.* **Calcaire coralloïde bigarré.** *25.* **Calcaire carbonifère.** *26.* **Marbre bariolé.** *27.* **Marbre coquillier.** *28.* **Calcaire d'eau douce.** *29.* **Marbre ruiniforme.** *30.* **Poudingue.**

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE VI.

Détermination pratique des minéraux.

DEUXIÈME PARTIE

A

B

C

D

E

S

T

V

W

Z

15748-12-18
SOCIÉTÉ ANONYME D'IMPRIMERIE DE VILLEFRANCHE-DE-ROUERGUE